

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Механіко-машинобудівний інститут

Кафедра «Інтегровані технології машинобудування»

«На правах рукопису»
УДК _621.923_

«До захисту допущено»

В.о.завідувача кафедри
_____ Охріменко О.А.
(підпис)

“ ____ ” _____ 2019р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування

(код і назва)

на тему: Магнітно-абразивна обробка внутрішніх поверхонь _____

Виконав (-ла): студент (-ка) 6 курсу, групи МІ-81мп
(шифр групи)

Ковернік Вячеслав Олегович _____
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник проф., д.т.н., проф., Майборода В.С. _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант _____
(назва розділу) (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.
Студент _____
(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут (факультет)) Механіко-машинобудівний

Кафедра «Інтегровані технології машинобудування»

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 8.05050302 Інструментальне виробництво

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о.завідувача кафедри

_____ Охріменко О.А.
(підпис)

« ____ » _____ 2019 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Коверніку Вячеславу Олеговичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Магнітно-абразивне оброблення внутрішніх поверхонь _____

науковий керівник дисертації Майборода Віктор Станіславович, д.т.н., проф.,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від « ____ » _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом дисертації _____

3. Об'єкт дослідження оброблення внутрішніх циліндричних поверхонь із Сталі 3
шляхом застосування методів МАО _____

4. Предмет дослідження підвищення якості і працездатності деталей _____

5. Перелік завдань, які потрібно розробити провести аналіз відомих видів постійних магнітів і обрати найкращий з них, обрати магнітно-абразивний порошок, який буде максимально продуктивно обробляти поверхню, визначити вплив процесу МАО на якість поверхні, дослідити вплив величини робочого зазору, частоти обертання та подачі _____

6. Орієнтовний перелік ілюстративного матеріалу 48 _____

7. Орієнтовний перелік публікацій _____

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1			
2			
3			
4			

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Провести аналіз науково-технічної інформації в галузі фінішних методів і методів магнітно-абразивного оброблення	01.09.19 — 31.09.19	
2	Визначення матеріалу досліджень, матеріалу магнітів, верстату для обробки, вимірювального обладнання	01.10.19 — 31.10.19	
3	Проводження експериментальних досліджень впливу процесу МАО на поверхню	01.11.19 — 31.11.19	
4	Розробка стартап проекту	01.12.19 — 14.12.19	

Студент

(підпис)

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

(ініціали, прізвище)

* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника магістерської дисертації.

АНОТАЦІЯ

Ковернік В.О. Магнітно-абразивне обробка внутрішніх поверхонь

Дисертація на здобуття наукового ступеня магістра за спеціальністю 8.05050302 – інструментальне виробництво. Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут ім. Ігоря Сікорського». – Київ, 2019 рік.

Проведено аналіз теоретичних та експериментальних досліджень фінішних методів оброблення деталей та визначено переваги магнітно-абразивного методу.

В роботі досліджено вплив магнітно-абразивного оброблення поверхні обертання на шорсткість, формування мікро- та макрогеометрії робочих поверхонь.

Експерименти показали, що порошок марки Феромап 630/400 мкм зменшив шорсткість в 2.5-3 рази в порівнянні з початковою шорсткістю. Феромап 200/100 майже не зменшив шорсткість, різниця між початковою і кінцевою складає близько 0.2-0.5 мкм. Використання при МАО дрібного порошку призвело до видалення мікронерівностей, а великі виступи, що визначають хвилястість поверхні, залишились практично незмінними. З порошком Полімам-М - зменшилась хвилястість поверхні після токарної обробки, а величина шорсткості зменшилась в 2.2 рази. S330 показав себе, як досить агресивний порошок, в зв'язку з тим, що мікротріщини на поверхні стали більшими після обробки. Зерна порошку розкрили тріщини, а шорсткість при цьому зменшилась в 2.4 рази.

Також було встановлено, що величина зазору між інструментом та оброблюваною поверхнею може як негативно так і позитивно впливати на шорсткість поверхні.

Ключові слова: магнітно-абразивне оброблення, магнітно-абразивний порошок, шорсткість.

АННОТАЦИЯ

Коверник В.О. Магнитно-абразивная обработка цилиндрических поверхностей постоянными магнитами

Диссертация на соискание ученой степени магистра по специальности 8.05050302 - инструментальное производство. - Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт им. И. Сикорского». - Киев, 2019 год.

Проведен анализ теоретических и экспериментальных исследований финишных методов обработки деталей и определены преимущества магнитно-абразивного метода.

В работе исследовано влияние магнитно-абразивной обработки поверхности вращения на шероховатость, формирования микро и макрогеометрии рабочих поверхностей, физико-механические свойства.

Эксперименты показали, что порошок марки Феромап 630/400 мкм уменьшил шероховатость в 2.5-3 раза по сравнению с начальной шероховатостью. Феромап 200/100 почти не уменьшил шероховатость, разница между начальной и конечной составляет около 0.2-0.5 мкм. Данный порошок убрал микронеровности, а большие ребра остались неизменными. С порошком Полимам-М - уменьшилась волнистость поверхности после токарной обработки, а величина шероховатости уменьшилась в 2.2 раза. S330 показал себя как достаточно агрессивный порошок, в связи с тем, что микротрещины на поверхности стали большими после обработки. Зерна порошка увеличили трещины, но шероховатость при этом уменьшилась в 2.4 раза.

Также было установлено, что величина зазора между инструментом и обрабатываемой поверхностью может как негативно так и позитивно влиять на шероховатость поверхности.

Ключевые слова: магнитно-абразивная обработка, магнитно-абразивный порошок, шероховатость.

ABSTRACT

Viacheslav Kovenik Magnetic-abrasive treatment of cylindrical surfaces with permanent magnets

Thesis for a master's degree in the specialty 8.05050302 - instrumental production. National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute. I. Sikorsky. - Kiev, 2019

Theoretical and experimental studies of finishing methods of machining of parts are analyzed and advantages of magnetic-abrasive method are determined.

The influence of magneto-abrasive treatment of rotation surface on roughness, formation of micro- and macrogeometry of working surfaces, physical and mechanical properties is investigated in the work.

The experiments showed that the Feromap 630/400 μm powder reduced the roughness by 2.5- 3 times compared to the initial roughness. Feromap 200/100 almost did not reduce the roughness, the difference between the initial and final is about 0.2-0.5 μm . This powder removed the micro-irregularities, and the large edges remained unchanged. With flame-M powder, the surface waviness decreased after turning, and the roughness value decreased 2.2 times. The S330 proved to be a rather aggressive powder, due to the fact that the microcracks on the surface became large after treatment. The grain of the powder increased the cracks, but the roughness thus decreased 2.4 times.

It was also found that the size of the gap between the tool and the machined surface can both negatively and positively affect the surface roughness.

Key words: magnetic-abrasive treatment, magnetic-abrasive powder, roughness.

РЕФЕРАТ

Проведено аналіз теоретичних та експериментальних досліджень фінішних методів оброблення деталей та визначено переваги магнітно-абразивного методу.

В роботі досліджено вплив магнітно-абразивного оброблення циліндричних площин на шорсткість, якість деталей із Сталі 3, що включає формування мікро- та макрогеометрії робочих поверхонь, фізико-механічні властивості та підвищення працездатності.

Експерименти показали, що порошок марки Феромап 630/400 мкм зменшив шорсткість в 2.5, 3 рази в порівнянні з початковою шорсткістю. Феромап 200/100 майже не зменшив шорсткість, різниця між початковою і кінцевою складає близько 0.2-0.5 мкм. Даний порошок прибрав мікронерівності, а великі ребра залишились незмінними. З порошком Полимам-М зменшилась хвилястість поверхні після токарної обробки, а величина шорсткості зменшилась в 2.2 рази. S330 показав себе як досить агресивний порошок, в зв'язку з тим, що мікротріщини на поверхні стали більшими після обробки. Зерна порошку збільшили тріщини, але шорсткість при цьому зменшилась в 2.4 рази.

Також було встановлено, що величина зазору між інструментом та оброблюваною поверхнею може як негативно, так і позитивно впливати на шорсткість поверхні.

Ключові слова. магнітно-абразивне оброблення, магнітно- абразивний порошок, шорсткість.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В ГАЛУЗІ ФІНІШНИХ МЕТОДІВ І МЕТОДІВ МАГНІТНО-АБРАЗИВНОГО ОБРОБЛЕННЯ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ДЕТАЛЕЙ.....	13
1.1 Механічні методи фінішного оброблення деталей.....	14
1.2 Класифікація схем процесу магнітно-абразивної обробки.....	20
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	27
2.1 Матеріал досліджень	27
2.2 Визначення типу і матеріалу постійного магніту круглої форми для обробки циліндричних деталей.....	27
2.3 Конструкція магнітої головки кінцевого типу для обробки внутрішніх циліндричних поверхонь.....	31
2.4 Магнітно-абразивні матеріали, що використовувались при МАО	35
2.5 Вимірювання шорсткості.....	37
2.6 Верстат на якому було проведено експериментальні дослідження	38
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	42
3.1 Результати попередніх досліджень.....	42
3.2 МАО внутрішніх циліндричних поверхонь.....	55
РОЗДІЛ 4. СТАРТАП-ПРОЕКТ.....	61
4.1 Опис ідеї проекту.....	61
4.2. Можливі напрямки застосування.....	62
4.3. Основні вигоди, що може отримати користувач товар.....	62
4.4. Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї.....	63
4.5. Технологічний аудит ідеї проекту	66

4.6. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	67
4.7. Аналіз ринкового середовища	69
4.8. SWOT-аналіз	72
4.9. Розробка ринкової стратегії проекту	74
4.10. Стратегія конкурентної поведінки	75
4.11. Маркетингова концепція товару	76
4.12. Визначення цінових меж товару	77
4.13. Визначення оптимальної системи збуту	78
ВИСНОВКИ.....	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	81

Вступ

Актуальність теми. Через постійний розвиток техніки та висування більших вимог до якості поверхонь деталей, актуальним є підвищення якості поверхневого шару матеріалу, а саме шорсткості. Через використання на сьогоднішній день у виробництві агресивних середовищ (високих швидкостей оброблення, температур, тисків) проблема підвищення якості, надійності, довговічності деталей, а саме поверхневого шару, який безпосередньо контактує набула особливої актуальності.

Одним з перспективних способів забезпечення високої якості робочої поверхні є технологія магнітно-абразивної обробки, широко застосовувана при доведенні інструменту. Це метод простий у виконанні, екологічно чистий, забезпечує високу якість оброблених поверхонь деталей і суттєве підвищення їх зносостійкості, корозії і механічних навантажень, має високу продуктивність і успішно замінює процеси хімічної та електрохімічної обробки.[1]

Магнітно-абразивна обробка (МАО) - це відносно новий тип обробки, в якому магнітне поле використовується для управління абразивними інструментами. Такі застосування, як поверхні прес-форм, стволи військової зброї, деталі авіаційної промисловості відносяться до тих деталей, які вимагають дуже високої гладкості поверхні.

За допомогою магнітно-абразивної обробки можна механізувати такі операції, як : видалення задирок і округлення гострих кромek, видалення окалини і тонких оксидних плівок, отримання на поверхнях рельєфних зображень, зміцнення металорізальних інструментів, полірування різних за формою поверхонь на деталях з матеріалів будь-якої в'язкості.

Даний метод поєднує сучасні технологічні методи поверхневого оброблення і зміцнення, спрямовані на формування поверхонь як з заданою мікрогеометрією, так і з оптимальними властивостями поверхневого шару: твердістю, мікроструктурою і напруженим станом.

Використання головок на постійних магнітах дає мобільність змінного інструмента, який може легко базуватися на будь-якому обладнанні. Схожі пристосування в магнітно-абразивній обробці потребують спеціального обладнання. Нашою задачею було довести можливість МАО на стандартних металорізальних обладнаннях, які є на кожному виробництві.

Мета і задачі дослідження. Розробка і дослідження роботоздатності пристосування на постійних магнітах для обробки внутрішніх циліндричних поверхонь.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Проведення аналізу науково-технічної інформації що до використання постійних магнітів для реалізації методу МАО.
2. Запропонувати конструкцію головки кінцевого типу на базі постійних магнітів для оброблення методом МАО внутрішніх циліндричних поверхонь.
3. Виконати цикл попередніх досліджень о можливості застосування різних за типом магнітно-абразивних порошків і визначенню раціональних умов їх використання.
4. Провести пошукові дослідження по визначенню ефективності процесу МАО внутрішніх циліндричних поверхонь ферромагнітних виробів запропонованою головкою.

Об'єкт дослідження — оброблення циліндричних поверхонь зі Сталі 3 методом МАО.

Предмет дослідження — якість поверхонь деталей.

Методи дослідження - для вирішення поставлених задач дослідження використовували основні положення теорії різання матеріалів, фізики твердого тіла, матеріалознавства, механіки контактної взаємодії, трибології різання, математичної статистики. Експериментальні дослідження виконані в лабораторних та виробничих умовах з використанням сучасних засобів вимірювання.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Для різних видів порошків було експериментально визначено раціональні робочий зазор, подачу та частоту обертання, при яких шорсткість поверхні мінімальна.
2. Встановлено закономірності впливу типу магнітно-абразивного порошку на формування мікрорельєфу поверхонь.
3. Показано вплив початкової шорсткості деталі умов оброблення, частоти обертання та робочого зазору на шорсткість обробленої деталі.

Практичне значення одержаних результатів. На основі проведених експериментальних досліджень було показано доцільність використання головок кінцевого типу на постійних магнітах для реалізації магнітно-абразивного методу при фінішному обробленні внутрішніх циліндричних поверхонь. Показано, що в результаті МАО шорсткість поверхні після попередньої токарної і струйно-абразивної обробок зменшилась в 2.5 – 3 рази. При цьому важливими факторами технологічного процесу є правильний вибір типу і розміру магнітно-абразивного порошку, величина робочого зазору (відстані між інструментом і оброблюваною поверхнею), швидкість обертання шпинделя і величина робочої подачі.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ В ГАЛУЗІ

ФІНІШНИХ МЕТОДІВ ОБРОБЛЕННЯ, ЩО ВИКОРИСТОВУЮТЬ ДЛЯ

ПІДВИЩЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ДЕТАЛЕЙ

Кожна деталь машини повинна мати певні експлуатаційні властивості - міцність, зносостійкість, довговічність т.ін. Однак, залежать вони не тільки від матеріалу, з якого деталь виготовлена, але і в значній мірі від шорсткості поверхні деталі.

Чистова обробка виконується не тільки для отримання певної точності і мікрогеометрії поверхні, але і для певних механічних і фізичних властивостей поверхневого шару.

Бурхливе зростання технічного прогресу пред'являє все більші вимоги до сучасних машин, а це змушує машинобудівників шукати нові більш досконалі методи обробки поверхні деталей.

Одними з найбільш перспективних задач сучасного виробництва є впровадження комплексного фінішного оброблення для забезпечення підвищеної працездатності за рахунок цілеспрямованого впливу на показники якості робочих поверхонь. Саме на фінішних етапах виготовлення можливо досягти підвищених експлуатаційних властивостей за рахунок покращення мікрогеометрії та фізико-механічних властивостей робочих поверхонь. В сучасному виробництві існує ціла низка методів фінішного оброблення, які спрямовані на формування тих чи інших показників якості. Вони розділяються на дві основні групи [1] – це методи механічного та фізико-механічного оброблення методи комплексного впливу на робочі поверхні деталей та методи нанесення спеціальних тонких зносостійких покриттів. Також використовують спеціальні методи оброблення, до яких відноситься магнітне оброблення, ультразвукове оброблення та ін. Далі розглянемо основні з цих методів, які використовуються для підвищення роботоздатності деталей.

1.1 Механічні методи фінішного оброблення деталей

Забезпечити формування необхідних показників якості деталей можливо саме на фінішних етапах їх виготовлення за рахунок цілеспрямованого впливу на фізико-механічні властивості поверхневого шару та макрогеометрію робочих поверхонь. Методи механічного оброблення і зміцнення, пов'язані з поверхневим пластичним деформуванням поверхневого шару, які спрямовано на формування в ньому високо дефектної структури з підвищеною щільністю дислокацій, подрібненою мікроструктурою, тощо і на створення мікрорельєфу поверхні, який забезпечує отримання високих експлуатаційних показників інструменту. До характеристик, що впливають на роботоздатність відносяться: напружений стан приповерхневого шару, твердість, шорсткість поверхонь, їх макрогеометрія та мікрогеометрія, яка включає в себе відсутність на них мікроконцентраторів у вигляді викришувань та сколів.

Зазначені параметри, як правило, формуються на фінішних етапах оброблення. При цьому забезпечується формування необхідного напруженого стану приповерхневого та поверхневого шару робочих поверхонь за рахунок поверхневого мікропластичного деформування, що супроводжується збільшенням густини дислокацій та ущільненням структури [2], підвищується твердість, знижується шорсткість, зникають мікроконцентратори напружень.

Віброабразивне оброблення. Процес супроводжується послідовним нанесенням на поверхню оброблюваних деталей великого числа мікроударів частинками робочого середовища при їх взаємному зіткненні і ковзанні. Удари викликані дією направлених вібрацій, що надаються робочій камері, в якій розміщені оброблювані деталі і робоче середовище (Рис.1.1). Шпиндельна віброабразивна обробка є процесом обробки поверхні деталей, що контактують з робочим середовищем, що не передбачає зміни точності їх розмірів.

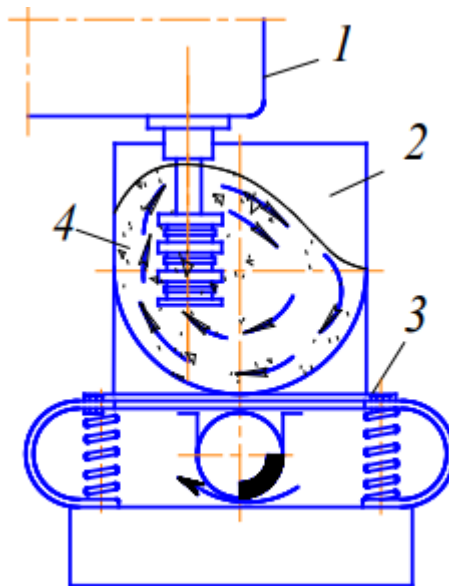


Рис 1.1 – Схема процесу шпиндельної віброабразивної обробки: 1 – шпиндель верстата; 2 – робоча камера (бункер); 3 – вібраційна установка; 4 – оброблювана деталь

Шпиндельна віброабразивна обробка забезпечує отримання поверхонь високих класів шорсткості (до $Ra_{0,16} \dots Ra_{0,04}$), а також високий якісний стан поверхневого шару оброблюваних деталей. Позитивною якістю процесу є можливість суміщення операцій, пов'язаних з отриманням високоякісних поверхонь, з такими, наприклад, як видалення задирок і округлення гострих кромek, шліфування і очищення допоміжних поверхонь, галтелей, канавок від окалини. В якості загальної закономірності шпиндельної віброабразивної обробки відмічено зменшення вихідної шорсткості поверхонь, утворених інструментом.

Алмазне шліфування. Алмазне шліфування це процес обробки металевих деталей з твердих сплавів шляхом зняття тонкої стружки, при якому використовуються кола або чашки з алмазним напиленням робочої кромки. Даний алмазний інструмент може бути затиснутий в патрони будь-яких металорізальних або шліфувальних верстатів, але також застосовується і в вузькоспеціальному обладнанні, наприклад, в портативних машинках або стаціонарних верстатах для шліфування полозів станин і супортів токарних і

фрезерних верстатів. Також їм можна шліфувати будь-які інші матеріали, включаючи камінь, бетон, кераміку, скло і т.п. Найчастіше, чашками шліфують площини, тоді як колами - пази. [3] При шліфуванні на бесцентрово-шліфувальних верстатах залежно від режимів різання і характеристики кола точність обробки може досягати 2-го класу, а шорсткість поверхні — 7-10-го класів чистоти.

Для ряду деталей типу тіл обертання фінішною операцією є кругле безцентрове шліфування, де параметр шорсткості обробленої поверхні $Ra = 0,16 \dots 0,04$ мкм [4].

Оброблення абразивними щітками. Розвиток машинобудівного виробництва пов'язано з розширенням використання багатоцільових верстатів різного роду і прогресивних конструкцій обробного інструменту. До одного з відносно нових видів інструменту відносяться щітки з абразивно-полімерним волокном. З 80-х машинобудування почало стабільно використовувати щітки з абразивно-полімерним волокном, типу «йорш» (рис.1.2) при впровадженні технології алмазного розгортання стосовно до корпусів гідророзподільників.



Рис.1.2 Щітка типу «йорш»

Ці деталі виготовляються з сірого та високоміцного чавуну з допуском на обробку робочих отворів в межах 4–8 мкм. Після фінішних операцій на відсічних кромках, утворених поперечними канавками, з'являється тонкий ниткоподібний задирок. Такий задирок неприпустимий, так як він призводить до заклинювання золотника в отворі. Водночас, на відсічних крайках допускається притуплення гострих кромek радіусом не більше 0.3 мм, що вкрай

важко. З цим завданням успішно справлялася щітка тип «йорш» з абразивно-полімерним волокном. Обробка проводилася за п'ять-вісім зворотно-поступальних переміщень «йорша» в отворі гідророзподільника при повному виході інструменту з отвору у верхньому і нижньому положеннях.[5]. Також використовують віброабразивні щітки для видалення матеріалу, зняття задирок, підвищення міцності, окалини, зносостійкості та корозійної стійкості поверхонь, для видалення мікрокапельної структури після нанесення зносостійких покриттів.

Струминно-абразивне оброблення. Зачисна обробка деталей різної конфігурації, особливо складної просторової форми, знаходить все більш широке застосування в машинобудуванні, прокатному і ливарному виробництві, приладобудуванні та електротехнічній промисловості. [5] . Струминно-абразивні технології дозволяють очистити поверхні металів і неметалів від органічних і неорганічних забруднень (Рис.1.3), надати поверхні нові адгезійні властивості, забезпечити необхідну шорсткість, поліпшити зовнішній вигляд виробу, створити поверхневий шар стискаючих напружень і т. д. Пропонована технологія відрізняється універсальністю, технологічною гнучкістю, сумісності з існуючими технологічними процесами.

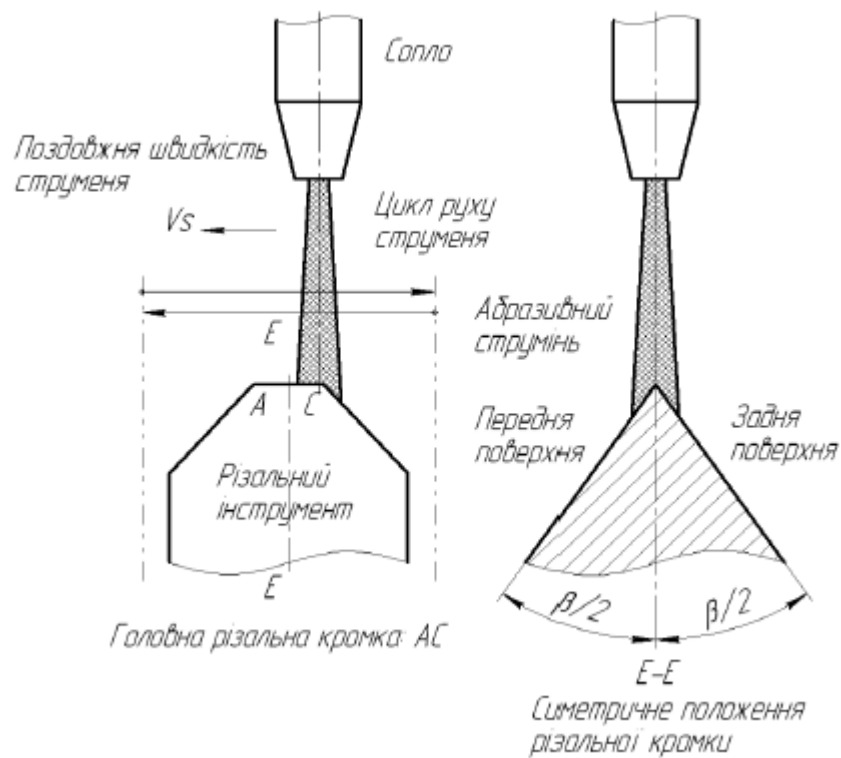


Рис.1.3 Струминно-абразивний метод очистки [6]

Але дані методи обробки не забезпечують необхідної якості. Розміри абразивних частинок при обробці цими методами знаходяться в межах 0,3-3 мм, в результаті шорсткість поверхні після обробки виходить не вище 3,2 мкм, виникає наклеп поверхневих шарів матеріалу деталей. [5]

Оброблення у вільному абразиві. Це сучасний метод шліфування, який здійснюється у вільному абразиві геометрично невизначеним шліфувальним інструментом, ущільненим інерційними силами [7]

Деталі, які оброблюються занурюються в контейнер, що містить вільні абразивні зерна, якими можуть бути керамічні матеріали, карбід силіцію, корунд та ін. Деталі здійснюють планетарний рух під час обробки в абразивному середовищі з метою забезпечення рівномірного оброблення та полірування поверхонь. Іншими словами можна сказати, що це — тягове шліфування, може здійснюватись в умовах сухого та вологого оброблення. Під час оброблення деталі не контактують між собою на відміну від методу віброабразивного оброблення, так як частини довгомірних деталей знаходяться

на різній глибині в робочому середовищі, що супроводжується різними величинами сил, які діють на ці оброблювані елементи. Це спричиняє нерівномірне оброблення по довжині оброблюваних деталей.

Всі вище перелічені методи забезпечують формування лише окремих показників якості.

Магнітно-абразивна обробка. Сутність магнітно-абразивної обробки (МАО) заснована на здатності феромагнітної маси, розміщеної в магнітному полі, без будь-яких механізмів-перетворювачів надавати абразивний вплив на оброблювану поверхню заготовок. МАО відносять до оздоблювальних видів обробки.

У першому випадку заготівля поміщується між полюсними наконечниками електромагніту з деякими зазорами, в які подається порошок, який має магнітні та абразивні властивості. Силами магнітного поля зерна феромагнітного порошку утримуються в зазорах, і, притискаючись до поверхні деталі, обробляють її. У робочі зазори подають також МОР (емульсол, гас).

МАО застосовують для обробки деталей із сталей, чавунів, кольорових металів і сплавів, скла, попередньо оброблених точінням, фрезеруванням, шліфуванням. У порівнянні з традиційними методами абразивної обробки МАО забезпечує підвищення продуктивності праці в 3 ... 5 разів, а при поліруванні сферичних лінз зі скла: в 5 ... 6 разів. При цьому витрати на абразивний інструмент знижуються в 2...3 рази.

За допомогою МАО можна знизити вихідну шорсткість з $Ra=1,25 \dots 3,2$ мкм до $Ra=0,08 \dots 0,01$ мкм; хвилястість-в 8 ... 10 разів, гранність-в 1,5 ... 2 рази. Точність розмірів і форми не змінюються. Основні переваги МАО – можливість обробки надтонких виробів ($h=0,05 \dots 0,5$ мм), виробів неправильної геометричної форми, можливість виявлення дефектів попередньої обробки (тріщини, припали...).

На (Рис.1.4) показано схеми магнітно-абразивної обробки.

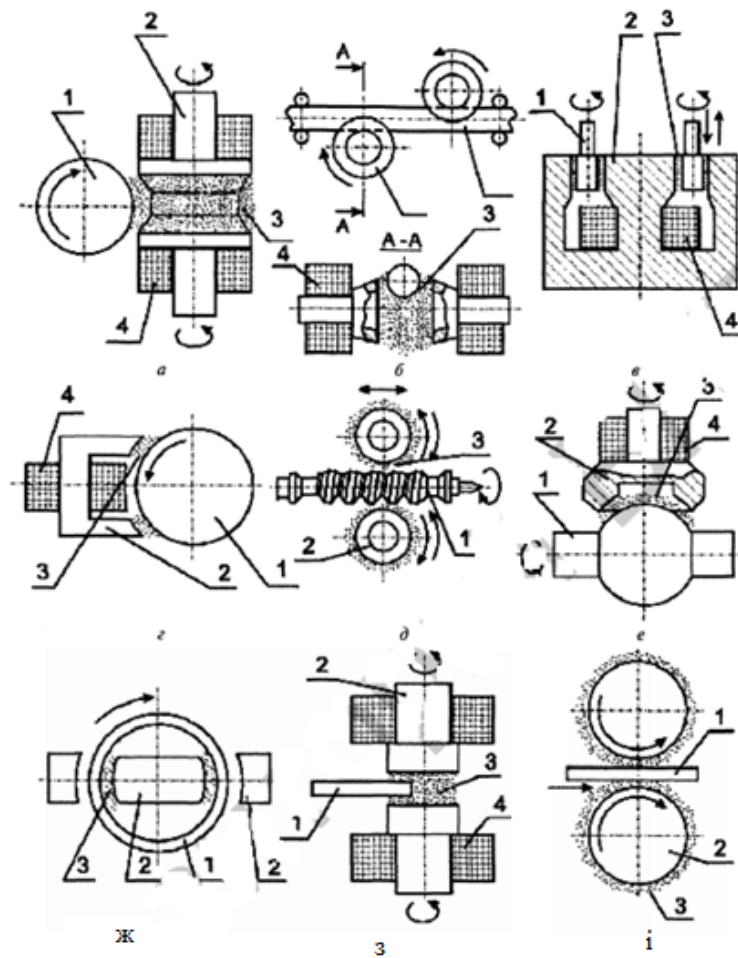


Рис.1.4 Схеми МАО: а) валів; б) прутків та труб; в) поверхонь тіл обертання; г) багатогабаритних валів; д) винтів; е) сфер; ж) отворів; з) кромки; і) листів та стрішок; 1)оброблювана заготовка; 2)полюсний нанакінецьник; 3)фероабразивний порошок; 4) електроагнітні катушки

Серед механічних методів фінішного оброблення циліндричної поверхні обертання можна виділити лише декілька методів: оброблення абразивними щітками та магнітно-абразивна обробка. Оскільки серед наведених методів, МАО є більш продуктивним, універсальним і якість поверхні краща при МАО

1.2 Класифікація схем процесу магнітно-абразивної обробки

Класифікують схеми магнітно-абразивної обробки по трьом ознакам:

- 1) функціональному призначенню магнітного поля в кожному конкретному випадку;
- 2) технологічній ознаці — формі оброблюваних поверхонь;
- 3) типу використовуваного магнітного індуктора.

На (рис.1.4) представлені приклади схем МАО. Для обробки зовнішніх циліндричних або фасонних поверхонь обертання заготовку 1 поміщають між полюсами електромагніту постійного струму (рис.1.5(а)). Зазори між полюсами 2 і оброблюваною поверхнею заповнюють магнітно-абразивним порошком 3. При цьому утворюється своєрідний абразивний інструмент, що копіює форму оброблюваної поверхні. Жорсткістю цього інструменту можна управляти, змінюючи напруженість магнітного поля в робочий зазор. Магнітне поле утримує порошок в зазорах і притискає його до оброблюваної поверхні. Необхідні для полірування рухи різання-обертання і осциляцію уздовж осі повідомляють заготовці за допомогою звичайних електромеханічних приводів.

На (рис.1.5(б)) показана схема полірування зовнішніх циліндричних і фасонних поверхонь обертання невеликих діаметрів з консольним закріпленням заготовок. Обробці одночасно піддають кілька заготовок 5, кожна з яких закріплена в окремому шпинделі. Кільцева ванна 4 виконана з немагнітного матеріалу і заповнена магнітно-абразивним порошком. По внутрішньому і зовнішньому периметрам ванни розміщені полюси електромагнітів протилежної полярності. При їх включенні порошок утворює всередині ванни абразивний інструмент (середовище) з регульованою жорсткістю.

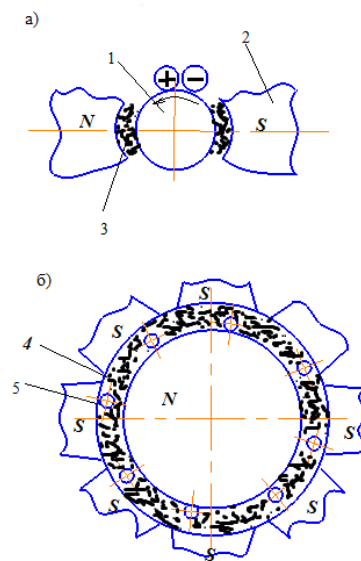


Рис.1.5 Приклади МАО

Полірувати поверхні можна за допомогою індуктора на постійних магнітах (рис.1.6). На робочій торцевій поверхні індукторів 2 по кільцю розташовані по черзі полюсники та постійні магніти. Магніто-абразивний порошок, закріплений силами магнітного поля на торцевій поверхні індуктора, обертається разом з індуктором и проводить полірування поверхні поступальними рухами заготовки 1.[8]

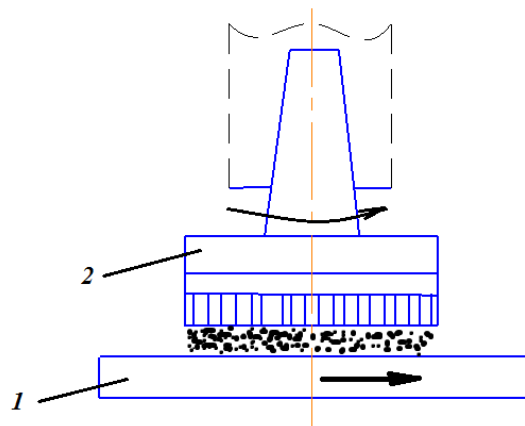


Рис.1.6 Зображення обробки інструментом на постійних магнітах

За допомогою обертового електромагніта можна обробляти внутрішні поверхні труб. Електромагніт має декілька секцій катушок 1, розташованих в пазах корпусу 2 (рис.1.7)

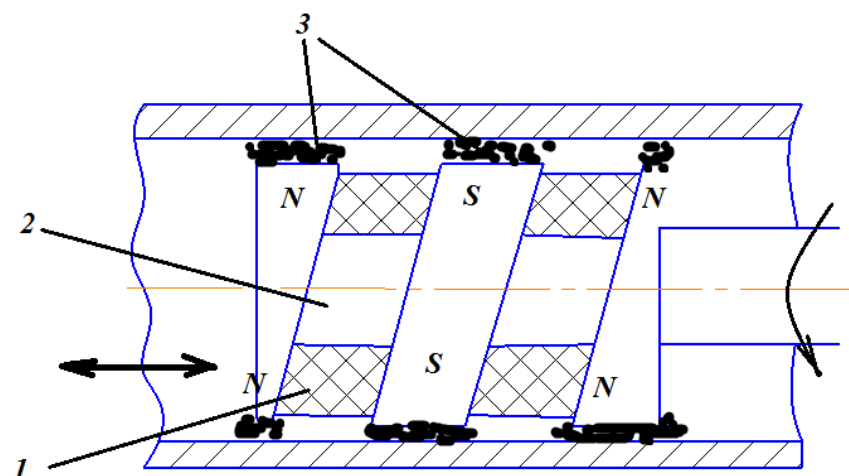


Рис.1.7 Схема обробки внутрішніх поверхонь

При цьому кільцеві ділянки 3 стають протилежно намагніченими полюсами, які утримують на собі магнітно-абразивний порошок і передають йому робочий обертальний рух. Додатково електромагніт преміщується вздовж

осі труби, захоплюючи за собою магнітно-абразивний порошок в робочих зазорах.

Роль різального інструмента виконує магнітно-абразивний порошок, а заготовка для полірування розміщується між полюсами електромагнітного індуктора або рядом з ними. Порція магнітно-абразивного порошку при включеному магнітному полі утримується силами магнітного поля в робочому просторі, притискається до оброблюваної поверхні і при русі заготовки відносно індуктора (або навпаки) виконує полірування. При цьому видаляється припуск і формується поверхня з новим мікрорельєфом і зміненими фізико-механічними властивостями поверхневого шару. Вся порція порошку, переміщеного в робочий зазор під дією сил тертя зі сторони рухомої заготовки (або полюса) зміщується до виходу із робочого зазору і ущільнюється, зустрічаючи там спротив зі сторони магнітного поля. Сили тертя між зернами і поверхнею полюса допомагають магнітному полю утримувати порошок всередині робочого зазору. Не зв'язані між собою зерна порошку переміщуються всередині робочого зазора

Якщо при постійному зануренні різучого зерна в оброблювану поверхню сила різання перевищить спротив повороту зерна зі сторони зовнішньої середовища чи якщо на шляху різального зерна з'являється перепона у вигляді збільшеної мікронерівності, твердого стороннього тіла, то таке зерно повертається і в контакт із заготовкою вступають його нові ділянки і нові різальні кромки. Саме цими поворотами можна пояснити переривистий характер рисок — сліду абразивного різання на поверхні заготовки. При наданні порошковій масі додаткових рухів за допомогою осциляції заготовки чи пульсуючого магнітного поля контакт зерен із заготовкою набуває більш преривистого характеру. Сили тертя зменшуються і порошкова маса краще утримується магнітними силами в робочому зазорі. Одночасно збільшується рух зерен всередині робочих зазорів інтенсифікується вхід в контакт із заготовкою нових різальних кромок. Безперервний вступ в роботу нових різальних кромок через переміщення зерен всередині робочих зазорів,

повертань і переходів з одного робочого зазору в інший назвемо самозаточуванням порошкової маси. Безсумнівно, в процесі полірування відбувається поступове руйнування зерен шляхом виривання з більш м'якої феромагнітної основи зерна. При цьому теж відбувається оголення нових різальних кромek. Через відносно невеликі сили різання різальних центрів зерна, будучи твердими кристалами, піддаються руйнуванню значно повільніше ніж феромагнітна матриця. Тому виривання із матриці різальних центрів виникає часто до їх затуплення. Зерна феромагнітного порошка в процесі полірування контактують з заготовкою різними частинами своєї поверхні, які відрізняються твердістю і геометричною формою, а значить і різною здатністю виконувати різання.

Про стружкоутворення в процесі МАО свідчить ряд встановлених факторів. Оброблена поверхня представляє собі сукупність рисок — сліду різання і виглажування ділянок. Направлення рисок визначається швидкостями робочих рухів заготовки і магнітного індуктора. [8]

Розрахунок магнітних сил в робочому зазорі при магнітно-абразивній обробці. Відомо, що складність розрахунку магнітних сил, що діють на зерна всередині робочого зазору посилюється тим, що вони мають різну форму і розміри. Враховувати це різноманіття не представляється можливим приймати припущення про те, що робочий зазор заповнений однорідним по щільності і магнітним властивостям суцільним середовищем [8]. Магнітні сили, що діють на зерна феромагнітного порошку, в процесі магнітно-абразивної обробки розраховуються методом кінцевих елементів. Приймається допущення, що зерна феромагнітного порошку - впорядковані і мають форму кулі. При магнітно-абразивній обробці постійні магніти розташовуються в індукторі таким чином, щоб магнітна система індуктора складалася з магнітних клітин, кожна з яких складається з магніту і двох сталевих магнітопроводів, розміщених у полюсних бічних поверхнях магніту (рис. 1.8) [9].

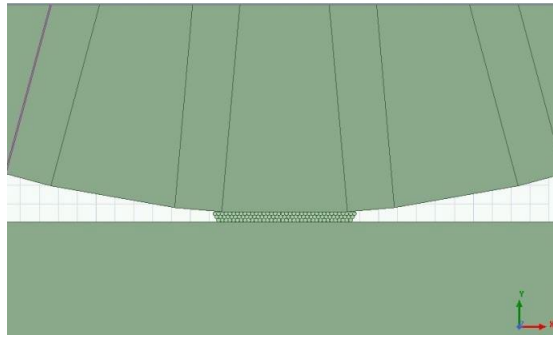


Рис.1.8 Магнітна система

При поліруванні магнітної заготовки силові лінії проходять від одного полюса індуктора до іншого переважно через деталь, і концентруються під сталевим магнітопроводом (рис.1.9) [10].

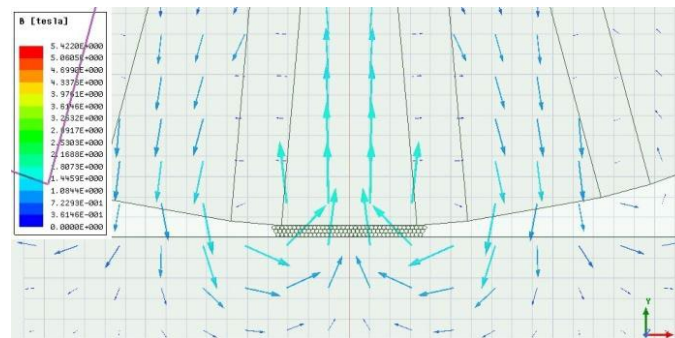


Рис.1.9 Картина силових ліній магнітного поля

Через це магнітно-абразивний порошок в робочому зазорі концентрується під магнітопроводом (рис. 1.10).

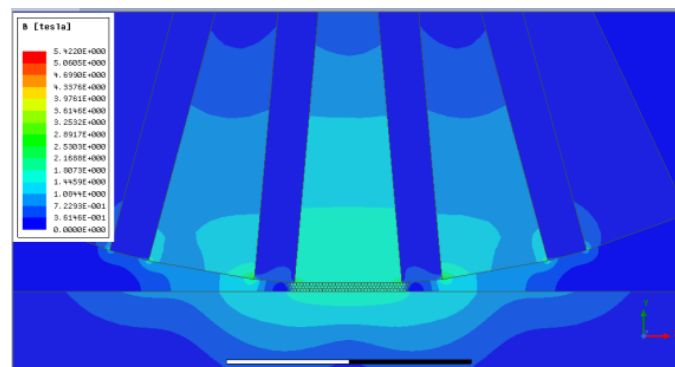


Рис.1.10 Концентрація магнітно-абразивного порошку

Магнітні сили, що діють на зерна феромагнітного порошку з боку магнітного поля утримують порошок на робочій поверхні магнітного індуктора [11].

Залежно від розташування кожного конкретного зерна в робочому зазорі, на зерно діє відповідна сила магнітного поля в стані рівноваги. В підсумку отримані значення всіх магнітних сил, що діють на всі зерна феромагнітного порошку, розташовані в робочому зазорі в стані рівноваги [12-15]. Кожне зерно має своєрідний вплив і значення магнітної сили [16].

Висновки: було проаналізовано механічні методи фінішних обробок деталей. Серед наведених методів було обрано найбільш продуктивний, а саме метод магнітно-абразивної обробки. Було розглянуто схеми обробки: а) валів; б) прутків та труб; в) поверхонь тіл обертання; г) багатогабаритних валів; д) винтів; е) сфер; ж) отворів; з) кромки; і) листів та стрішок. А також класифікацію схем процесу магнітно-абразивної обробки.

Метою роботи є розроблення пристосування для МАО внутрішніх поверхонь обертання, експериментальне дослідження впливу типу магнітно-абразивного порошку на поверхню, величини робочого зазору, частоти обертання та подачі на зміну параметрів шорсткості.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- проведення аналізу науково-технічної інформації що до використання постійних магнітів для реалізації методу магнітно-абразивного оброблення.
- запропонувати конструкцію головки циліндричного типу на базі постійних магнітів для оброблення внутрішніх циліндричних поверхонь.
- виконати цикл попередніх досліджень о можливості застосування різних за типом магнітно-абразивних порошоків і раціональних умов їх використання.
- провести пошукові дослідження по визначенню ефективності процесу МАО внутрішніх циліндричних поверхонь феромагнітних виробів запропонованою головкою.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Матеріал досліджень

Експериментальні дослідження магнітно-абразивної обробки було проведено на заготовках циліндричної форми зі Сталі 3 (Рис.2.1), фізико-хімічні властивості якої було представлено в таблицях 2.1 і 2.2.

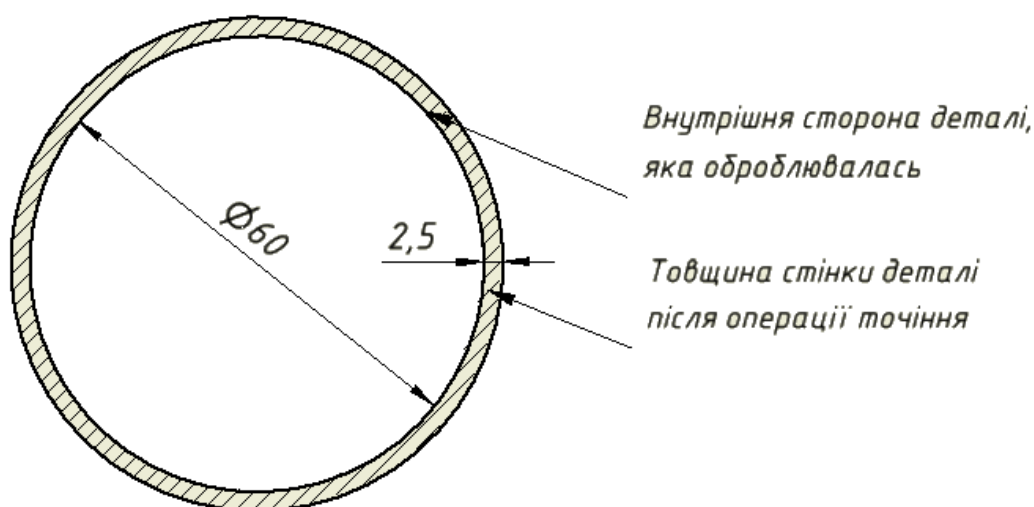


Рис.2.1 Ескіз заготовки

Таблиця 2.1 - Хімічний склад у % матеріалу Ст 3

C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr	N	Cu	As
0.14 - 0.22	0.15 - 0.3	0.4 - 0.65	до 0.3	до 0.05	до 0.04	до 0.3	до 0.008	до 0.3	до 0.08

Таблиця 2.2 - Механічні властивості при $T = 20^{\circ}\text{C}$ матеріалу Ст 3

Сортамент	Размер	Напр.	$\sigma_{\text{в}}$	$\sigma_{\text{т}}$	δ_5	ψ	КСУ	Термообр.
-	мм	-	МПа	МПа	%	%	кДж / м ²	-
Трубы, ГОСТ 8696-74			372	245	23			

2.2 Визначення типу і матеріалу постійного магніту для обробки циліндричних деталей

Використання постійних магнітів для створення магнітного поля в робочих зазорах дозволяє відмовитись від електричних схем живлення індукторів, зменшення ймовірності зупинки процесу полірування у зв'язку з

виходом з ладу електричної апаратури чи електричного пробою намагнічуючих котушок. Відпадає необхідність в ретельній герметизації індуктора від попадання всередину ЗОР. Через відсутність намагнічуваних котушок різко зменшуються габаритні розміри і маса індуктора, що впливає на багато конструктивних переваг.

Постійні магніти виготовляються з магнітотвердих матеріалів, рекомендована форма яких зображена на (Рис.2.2).

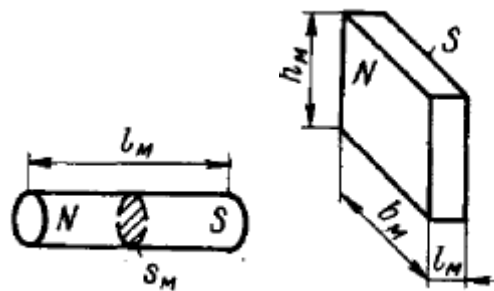


Рис.2.2 Рекомендована форма магнітів з даних матеріалів

Но- мер груп- пы	Материал	Максималь- ная удель- ная магнит- ная энергия w_{\max} , кДж/м ³	Коэрцитив- ная сила H_c , кА/м	Остаточная индукция B_r , Тл
1	Литые сплавы (альнико)	3,6 – 40	40 – 145	0,43 – 1,40
2	Металлокера- мические сплавы (альнико)	3,6 – 16	24 – 128	0,60 – 1,10
3	Ферриты (ба- риевые, кобальто- вые, стронциевые)	4,5 – 12	135 – 225	0,24 – 0,39
4	Интерметалли- ческие соединения (редкоземельные элементы с ко- бальтом)	55 – 72,5	500 – 540	0,77 – 0,90

Табл.2.3 Характеристики магнітотвердих матеріалів

В табл.2.3 приведені характеристики основних груп магнітотвердих матеріалів, які використовуються в промисловості.

Головною перевагою литих і металокерамічних постійних магнітів являється їх висока остаточно індукція B_r . В той же час вони мають відносно

низьку коерцитивну силу, а значить можуть розмагнічуватись під дією зовнішніх магнітних полів, підвищених температур і струсів. Максимальна магнітна енергія в таких магнітів з урахуванням відношення досягається при великій довжині l_m магнітів.

З позиції конструювання індукторів для МАП збільшення довжини магнітів небажано. Для цих цілей зазвичай беруть магнітотверді матеріали 3-ї та 4-ї груп. Висока коерцитивна сила цих матеріалів зумовлює високу стабільність магнітних властивостей при МАП, коли кожний магніт може знаходитись під впливом полів магнітів, які знаходяться поруч, вібрацій, які виникають в приводах механічних рухів.

Наприклад **ферити** зберігають свою намагніченість під час і після дії вібрацій з частотою 5 – 2500 Гц з прискоренням до 200 м/с², постійних і одноразових ударів з прискоренням до 1500м/с². Феритові магніти хоч і відрізняються крихкістю, але мають гарну корозійну стійкість, що при невисокій ціні робить їх найбільш поширеними. Такі магніти виготовляють із сплаву оксиду заліза з феритом барію або стронцію. Даний склад дозволяє матеріалу зберігати свої магнітні властивості в широкому температурному діапазоні - від -30 ° С до + 270 ° С. Магнітні вироби у формі феритових кілець, брусків і підков широко використовуються як в промисловості, так і в побуті, в техніці та електроніці. Їх використовують в акустичних системах, в генераторах, в двигунах постійного струму. В автомобілебудуванні феритові магніти встановлюють в стартери, в склопідйомники, в системи охолодження і в вентилятори. Феритові магніти відрізняються коерцитивною силою близько 200 кА / м і залишковою магнітною індукцією порядку 0,4 Тесла. В середньому, феритовий магніт може прослужити від 10 до 30 років. Досліди показали, що штучне старіння феритових магнітів при температурі 250 С⁰ на протязі 6000 год. привело до зниження магнітного потоку лише на 1%. [17]

Альніко (алюміній-нікель-кобальт)

Постійні магніти на основі сплаву з алюмінію, нікелю і кобальту відрізняються неперевершеною температурної стійкістю і стабільністю: вони здатні зберігати свої магнітні властивості при температурах до $+ 550^{\circ} \text{C}$, хоча коерцитивної сила, характерна для них, відносно мала. Під дією відносно невеликого магнітного поля, такі магніти втратять вихідні магнітні властивості. Посудіть самі: типова коерцитивна сила близько 50 кА / м при залишковій намагніченості порядку $0,7 \text{ Тесла}$.

Однак незважаючи на цю особливість, магніти альніко незамінні для деяких наукових досліджень. Типове склад компонентів в сплавах альніко з високими магнітними властивостями змінюється в наступних межах: алюміній - від 7 до 10%, нікель - від 12 до 15%, кобальт - від 18 до 40%, і від 3 до 4% міді. Чим більше кобальту, тим вище індукція насичення і магнітна енергія сплаву. Добавки у вигляді від 2 до 8% титану і всього 1% ніобію сприяють отриманню більшої коерцитивної сили - до 145 кА / м . Добавка від 0,5 до 1% кремнію забезпечує ізоτροпію магнітних властивостей.[17]

Самарієві

Якщо потрібна виняткова стійкість до корозії, окислення і температурі до $+ 350^{\circ} \text{C}$, то магнітний сплав самарію з кобальтом - те що треба. За вартістю самарій-кобальтові магніти дорожче неодимових за рахунок більш дефіцитного і дорогого металу - кобальту. Проте, саме їх доцільно застосовувати в разі необхідності, мають мінімальні розміри і вагу кінцевих виробів.

Найбільш доцільно це в космічних апаратах, авіаційній та комп'ютерній техніці, мініатюрних електродвигунах і магнітних муфтах. Завдяки особливій корозійній стійкості, саме самарієві магніти застосовуються в стратегічних розробках і військових додатках. Електродвигуни, генератори, підйомні системи, мототехніка - сильний магніт зі сплаву самарію-кобальту ідеально підходить для агресивних середовищ і складних умов експлуатації. Коерцитивна сила близько 700 кА / м при залишковій магнітній індукції порядку 1 Тесла . [17]

Неодимові

Неодимові магніти на сьогоднішній день дуже затребувані і представляють найбільшу перспективу, являються найпотужнішими магнітами в світі по залишковій намагніченості, коерцитивній силі і питомій магнітній енергії. Сплав неодим-залізо-бор дозволяє створює супермагніти для різних сфер, починаючи з засувки і іграшок, закінчуючи електрогенераторами і потужними підйомними машинами. Висока коерцитивна сила близько 1000 кА / м і залишкова намагніченість близько 1,1 Тесла, дозволяють магніту зберігатися протягом багатьох років, за 10 років неодимовий магніт втрачає лише 1% своєї намагніченості, якщо температура його в умовах експлуатації не перевищує + 80 ° С (для деяких марок до + 200 ° С), чого не можна сказати про ті магніти, які випускалися раніше. Також даний магніт має здатність довгий час чинити опір розмагнічуванню. Таким чином, лише два недоліки є у неодимових магнітів - крихкість і низька робоча температура.

Висновок: на основі стислих характеристик видів магнітів можемо зробити висновок щодо найбільш підходящого магніту для наших експериментальних випробувань. Залишкова магнітна індукція в феритових магнітах дорівнює 0.4 Тесла, альніко — 0.7 Тесла, самарієві — 1 Тесла, а неодимові близько 1.1 Тесла. Отже, найсильнішим серед магнітним матеріалом є неодим. Чим більша намагніченість тим більш надійно буде триматись МАП на інструменті, а також можна буде зменшити час обробки через більшу швидкість обертання шпинделя. У даних магнітів є і недоліки, як наприклад крихкість — це можна усунути за допомогою спеціального корпусу, в який будуть розташовано магніти.

2.3 Конструкція магнітої головки кінцевого типу для обробки внутрішніх циліндричних поверхонь

При обробці внутрішніх циліндричних деталей було використано циліндричне пристосування з кільцевими магнітами (Рис.2.3)

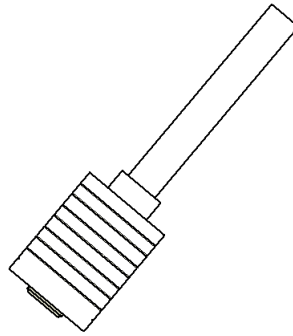


Рис.2.3 Ескіз пристосування для обробки циліндричних поверхонь

На (рис.2.4(а,б)) схематично показано розподіл магнітного порошку в залежності від розташування магнітів. На рис.(а) магніти знаходяться різнойменними полюсами один до одного, на рис. (б) магніти направлені однойменними полюсами.

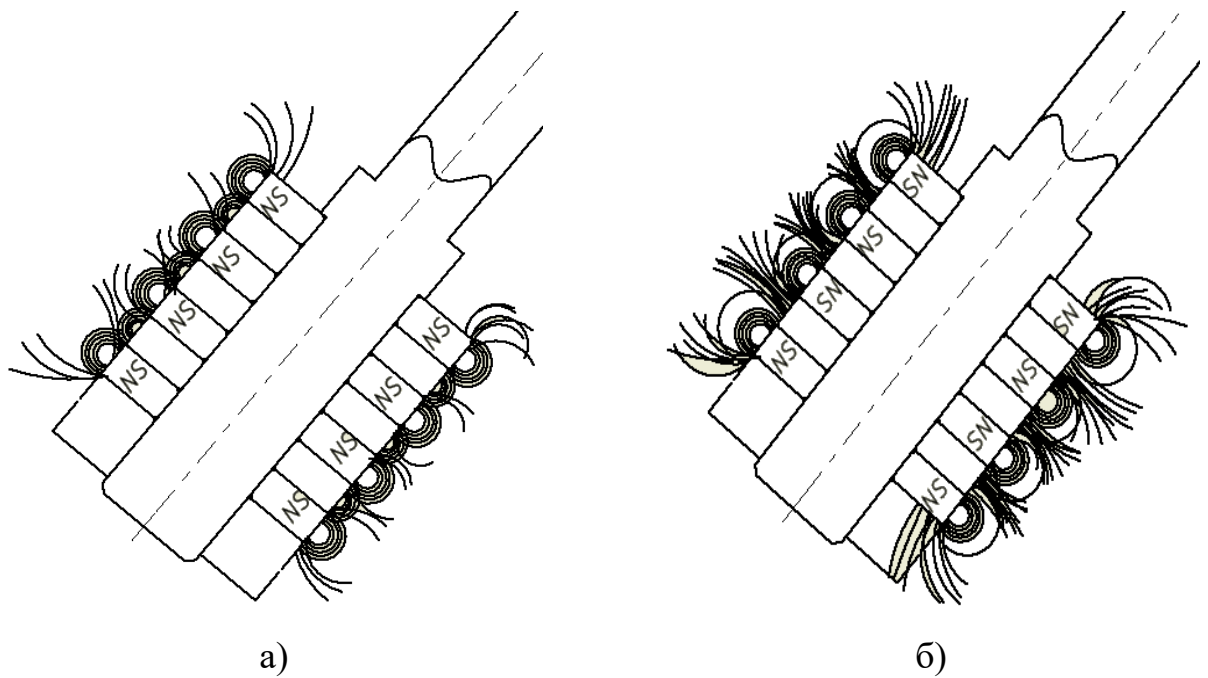


Рис.2.4 Ескіз головки кінцевого типу (в) з вірогідними схемами розташування постійних магнітів кільцевого типу і очікуваний характер розподілення магнітного поля в пристосуванні (а,б)

Виконано розрахунки характеру розподілення магнітного поля для запропонованих схем розташування окремих магнітів в пристосуванні в середовищі Solidworks. На (Рис.2.5) показано картини магнітного поля і графіки розподілення магнітної індукції для схеми NS-NS-NS (рис.2.5(a)) і NS-SN-NS (рис.2.5(б)) відповідно.[18]

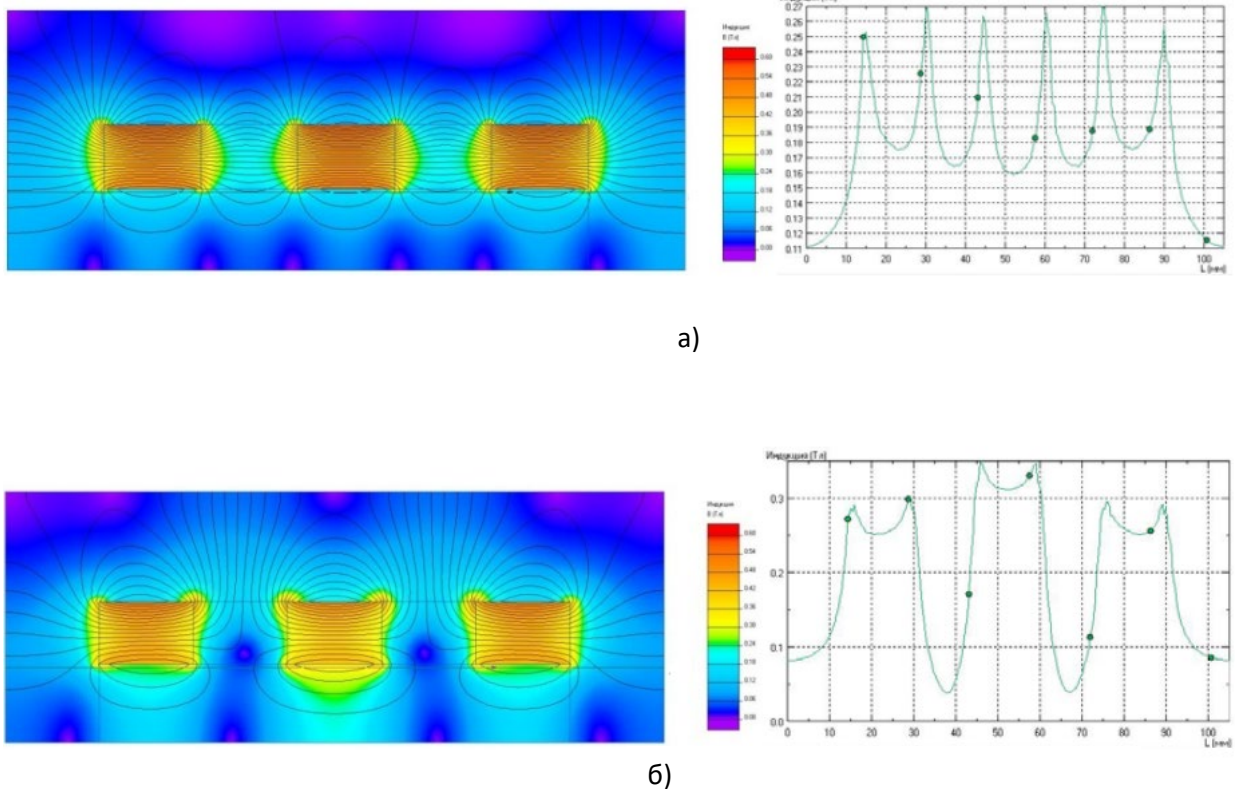


Рис.2.5 (а,б) Магнітні поля і графіки розподілення магнітної індукції

З графіків видно, що для схем на певній відстані між магнітами спостерігається постійна індукція магнітного поля, яка формує стійкі ланцюжки фероабразивного порошку.[18]. На графіках для схеми NS-NS-NS характерним є рівномірний розподіл фероабразивного порошку по внутрішній оброблюваній поверхні трубки, але при цьому значення максимальної магнітної індукції невелике.

Для схеми NS-SN-NS характерно висока магнітна індукція щодо схеми NS-NS-NS, але не рівномірний розподіл фероабразивного порошку. На (рис.2.5)

показано загальний вид пристосування в зборі, а також послідовність розміщення магнітів.



Рис.2.6 Загальний вид пристосування

На (рис.2.7(а,б)) зображено пристосування в робочому стані з двома типами розташування магнітних полів.



б)



б)

Рис.2.7 Пристосування в робочому стані

На (рис.2.7(а)) показано розподілення фераабразивного матеріалу по інструменту зі схемою магнітних полів NS-NS-NS. На (рис.2.7(б))

фероабразивний порошок розподіляється чітко на самих магнітах. Зі схемою NS-SN-NS магніти відштовхуються один від одного тим самим утворюючи ребра з порошку, який щільно прилягає до оброблюваної поверхні. Дана схема є кращою при роботі, МАП довший час знаходиться на інструменті, зменшуючи час обробки.

2.4 Магнітно-абразивні матеріали, що використовувались при МАО

Магнітно-абразивні порошки є своєрідним інструментальним матеріалом, який поєднує в собі високі різальні і магнітні властивості, що пред'являються до таких матеріалів, впливають з умов використання порошків в процесі полірування методом МАО.

Успішна робота більшості схем магнітно-абразивного полірування залежить від того, чи зможуть сили магнітного поля утримувати порошок в робочій зоні (зазорах), наскільки великі будуть сили, що діють на кожне зерно порошку і наскільки високу густину магнітного потоку вдасться створити в робочій зоні (зазорі).

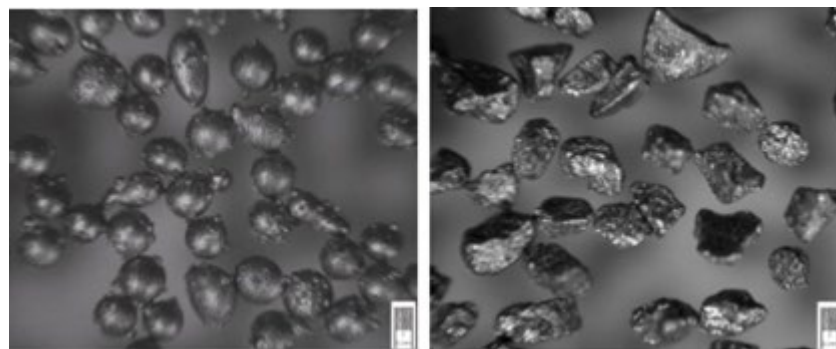
Магнітні сили визначаються магнітним проникненням порошкового середовища, магнітної індукції та її градієнтами в межах робочої зони і на її кордонах. Якщо магнітний опір робочої зони (зазору) буде невеликим, то це ж значення індукції можна буде створити більш простими засобами, при менших розмірах індуктора і з меншими енерговитратами. Звідси впливають перші вимоги до магнітних властивостей порошків: вони повинні володіти індукцією насичення, що перевищує значення робочого діапазону індукції при поліруванні (0,8-1,4 Тл); магнітна проникливість для порошкового матеріалу в цьому ж діапазоні індукції повинна бути якомога вищою.

Забезпечити одночасно твердість і магнітні властивості для зерен з однорідного матеріалу не вдається, тому застосування порошків з однорідних матеріалів для магнітно-абразивної обробки обмежена. Для того щоб досягти даних властивостей використовують порошкові матеріали у яких представлено композицію з феромагнітної основи і твердих немагнітних включень (

різальних центрів) або твердого покриття. Гарні властивості мають механічні суміші з феромагнітних і абразивних порошків з твердих чи надтвердих матеріалів.

Осколкові — отримані результатом розмелу попередньо гранульованих розплавів систем Fe-Si-Ti-C, Fe-Si-C матеріалів, які мають практично безпористу структуру, до них ще відносять: (Феромап, Поліам, Поліам Т, Феромап, ДЧК (ДЧКн, ДЧКб/у,).

Округлі — отримані в результаті розпилення розплавів системи Fe-Si-C, Fe-C-Si-Al без наступного розмелу. В нашому випадку це порошок марки S330. Також до цих порошків відносять: ПР Р6М5, Поліам Мсф. Усі частинки мають неправильну геометричну форму. Різниця у формі частинок порошків одного складу або походження визначається способом отримання, додатковим обробленням, методом сепарації та іншими факторами. Незалежно від методу отримання порошку, кожне окреме зерно має на своїй поверхні різальні елементи – кромки, які характеризуються відповідними мікрогеометричними характеристиками. В процесі MAO використовують порошкові матеріали з достатньо широким фракційним складом від 100/63 до 1000/630 мкм, які використовують при отриманні різних параметрів оброблюваних поверхонь. При експериментах ми використовували порошки такі як: Феромап 630/400, Феромап 200/100, Поліам М 400/315 та S330. Дані порошки можна поділити на дві групи (осколкові та округлі) (Рис.2.8).



округлі

осколкові

Рис. 2.8 Форми порошків

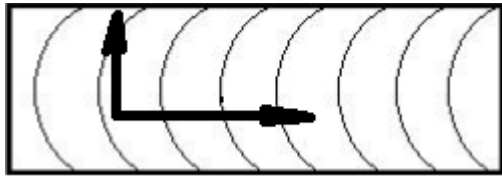
2.5 Вимірювання шорсткості

Після механічної обробки внутрішніх поверхонь методом магнітно-абразивної обробки вимірюється шорсткість на устаткуванні методом ошупування. Для цього використовується профілометр-профілограф Калибр 252 (рис.2.9).



Рис.2.9 Профілометр-профілограф Калибр 252

На (Рис.2.10) показано напрям руху голки профілометра-профілографа 252 по обробленій поверхні, якою було виміряно шорсткість R_a . Усі вимірювання було виконано за даним методом. На (Рис.2.10а) показано вимірювання шорсткості на плоских поверхнях, а саме рух голки по поверхні. На (рис.2.10б) показано рух ошупування циліндричних поверхонь після обробки. Як на циліндричній так і на плоскій поверхнях вимірювання виконувалось 5-10 разів в залежності від точності показань.



а)



б)

Рис.2.10 Напрямки вимірювання шорсткості:

а) на плоских поверхнях (голка профілометра переміщується як впоперек, так і вздовж напрямку фрезерування), б) на циліндричних поверхнях

2.6 Верстат на якому було проведено експериментальні дослідження

Для підготовки зразків перед МАО використовували піскоструменну машину Modena для очищення поверхонь від бруду та іржі як з внутрішньої сторони так і з зовнішньої. В подальшому заготовку обробляли на токарному верстаті для отримання потрібної довжини та діаметру. Магнітно-абразивне оброблення виконували на широко-універсальному фрезерному верстаті 6Б75ВФ (Рис.2.11).



Рис.2.11 Верстат 6Б75ВФ

При обробленні заготовки з внутрішнім діаметром 40 мм (Рис.2.12) після попередньої обробки була закріплена в трьох-кулачковому патроні (Рис.2.13) таким чином, що би вісь заготовки співпадала з віссю пристосування і відповідно з віссю шпинделя верстата. Оскільки інструмент має діаметр 35, вирішено було нерухомо зафіксувати деталь. Відстань при цьому між інструментом та заготовкою складала 2.5 мм, де знаходився магнітно-абразивний порошок марки Феромап 630/400. Інструмент виконував як обертальний так і поступальний рух, що давало можливість обробити заготовку на потрібну висоту. В кінці експерименту заготовку знімали, очищали від МАП та ЗОР, робили замірювання шорсткості, а отримані значення заносились в таблицю разом із значенням робочого зазору після чого будувались графіки залежності.

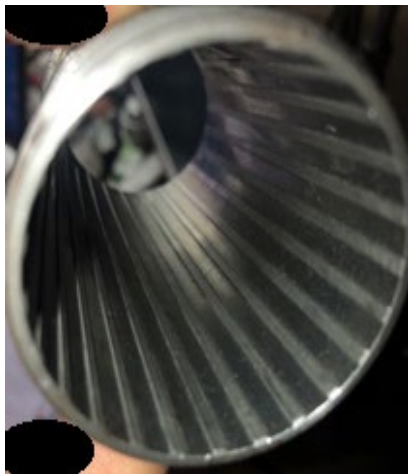


Рис.2.12 Заготовка Ø40



Рис.2.13 Пристосування в
робочому стані

Перед обробкою заготовки діаметром 60мм (Рис.2.13) виконувалась підготовча операція точіння для надання циліндричності поверхні, після чого на поверхні залишились сліди обробки токарним різцем, а саме діаметральні

риски та хвилястість (Рис.2.14). При обробленні заготовка була закріплена в трьох-кулачковому патроні (Рис.2.15), який було встановлено на обертовому столі таким чином, що би вісь заготовки було зміщено на відповідну відстань відносно осі шпинделя верстата.



Рис.2.14 Заготовка після точіння



Рис.2.15 Заготовка встановлена на обертовому столі зі зміщенням співвісності відносно інструменту

На одній заготовці можна було провести два експерименти опускаючи інструмент на половину висоти заготовки, потім перевертали, знімали порошок з інструмента, намагнічували новий і проводили ще один дослід на тій самій заготовці аналогічно, змінюючи зазор. Під час МАО виконували обертання поворотного робочого стола, подача дорівнювала приблизно 40 мм/хв, а частота обертання шпинделя дорівнювала 900 об/хв. Рух циліндричної головки відбувався за годинниковою стрілкою (Рис.2.16) та по вертикальній осі, а

заготовка оберталась проти годинникової стрілки. Відбувався процес МАО від 5 до 20 хв., в залежності від марки порошку та зазору.

Після проведення випробувань заготовка знімалась з трьохкулачкового патрона, очищалась від змащуючо-охолоджуючої рідини і МАП, розмагнічували і проводили вимірювання на шорсткість поверхні R_a .

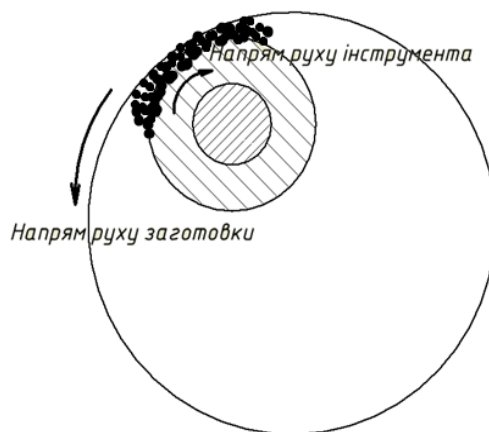


Рис.2.16 Напрямок руху інструмента та заготовки

Під час експериментальних досліджень змінювали частоту обертання шпинделя від 500 до 900 об/хв та відстань від магнітів до оброблюваної поверхні від 2 до 4 мм.

Шорсткість поверхні вимірювали вздовж заготовки. Так повторювали від 5 до 10 разів в залежності від якості знятих показань для кожного дослідження, а потім виводили середнє значення $R_{a_{ср}}$. Очищали, знімали залишки порошку із пристосування і засипали новий.

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Результати попередніх досліджень

Експериментальні дослідження виконували на плоских зразках зі сталі 45. Попередня обробка - фрезерування торцевою фрезою до шорсткості $Ra = 1-2$ мкм. Зовнішній вигляд отриманого після фрезерування поверхні, її профілограма в напрямку подачі при фрезеруванні і залежність зміни відносної величини опорної поверхні профілю - tr від відносної його висоти p представлено на рис.3.1.

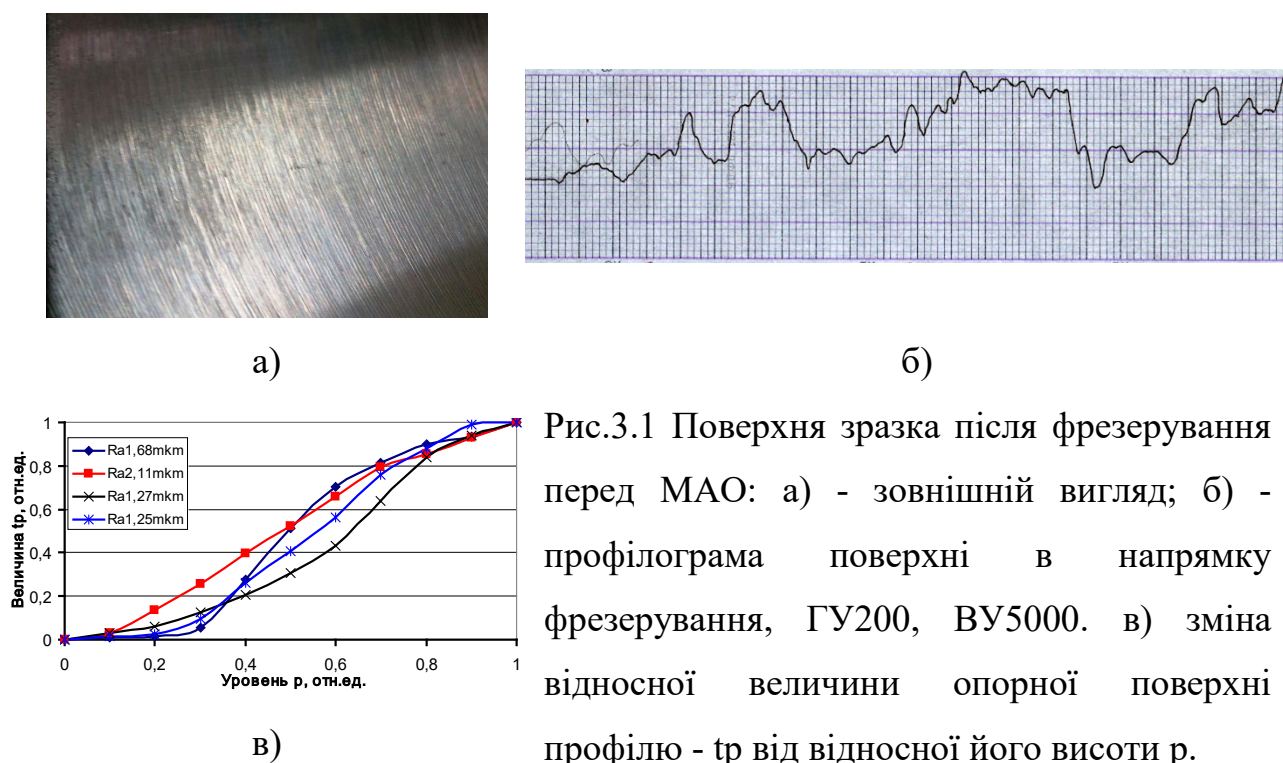


Рис.3.1 Поверхня зразка після фрезерування перед МАО: а) - зовнішній вигляд; б) - профілограма поверхні в напрямку фрезерування, ГУ200, ВУ5000. в) зміна відносної величини опорної поверхні профілю - tr від відносної його висоти p .

Аналізували зміну параметрів мікропрофілю попередньо прошліфованих плоских зразків до величини $Ra = 0,05$ мкм і $Rz = 0,28$ мкм уздовж напрямку шліфування і $Ra = 0,15$ мкм і $Rz = 1,1$ мкм поперек напрямку шліфування.

Для обробки використовували магнітно-абразивні порошки, отримані методом диспергування розплаву [19-20], характеристика яких наведена в табл.2.

Таблиця 3.1

Характеристики використовуваних магнітно-абразивних порошків.

Тип порошка	Размер частинок, мкм	Форма частинок	Степень неравноосности
Ферромап	200/100	осколкові	рівновісні, $k_f=1,5$
	315/200		рівновісні, $k_f=1,4$
	400/315		рівновісні, $k_f=1,3$
	630/400		рівновісні, $k_f=1,4$
Полімам-М	400/315	округлі	нерівновісні, $k_f=1,89$
ДЧК	630/400	осколкові	рівновісні, $k_f=2,96$
ПР Р6М5	315/200	округлі	рівновісні, $k_f=1,05$

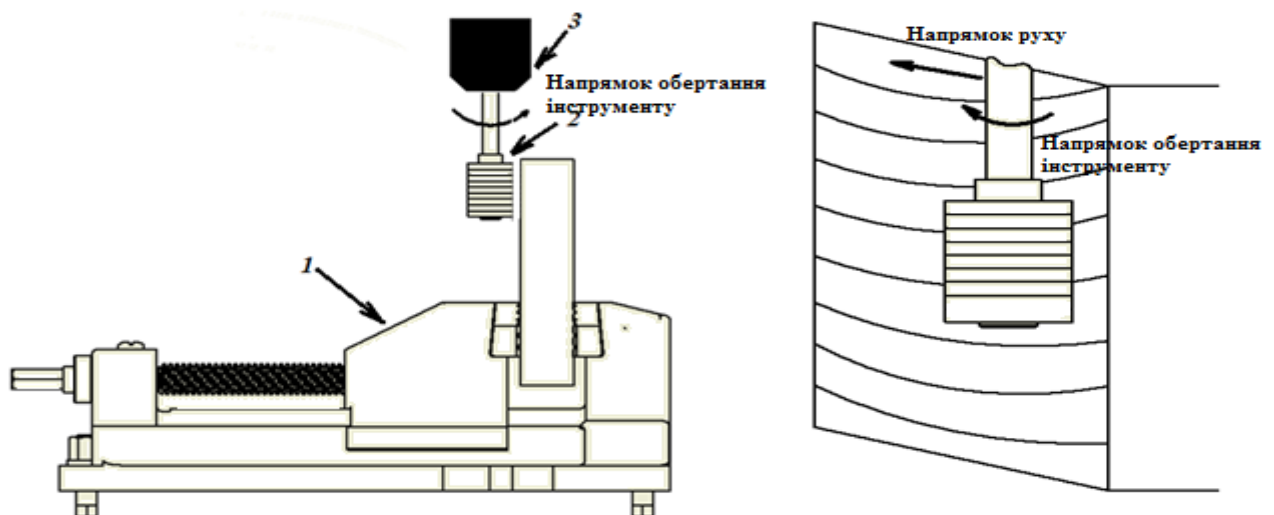


Рис.3.2 Схема оброблення плоских поверхонь: 1) лещата; 2) інструмент;
3)шпиндель

На рис.3.2 схематично зображено магнітно-абразивну обробку плоских поверхонь інструментом призначеним для обробки циліндричних поверхонь. Експеримент проводився на широко-універсальному фрезерному верстаті 6Б75ВФ (рис.3.3), де за допомогою лещат закріплювалась пластина у вертикальному положенні, засипався відповідний порошок і інструмент підводився до заготовки. Змінювали частоту обертання головки в діапазоні 500-1400 об/хв, використовували порошки марки: Феромап (200/100; 315/200; 400/315; 630/430), ДЧК_{нов.} (630/400), ДЧК_{б/у} (630/400), Полімам-М (400/315), ПР Р6М5 (315/200), Царамам (630/400), зазор між деталлю та інструментом складав: 2-4 мм.



Рис.3.3 Інструмент під час обробки плоских поверхонь

Аналізували можливість використання різних за типом, формою і розмірами частинок магнітно-абразивних порошоків, при МАО Сталі 45 циліндричним пристосуванням. Отримані результати параметра Ra після МАО порошками різних типів показали, що найкращі результати - мінімальні значення одержуваної шорсткості забезпечуються після обробки МАІ, сформованим з магнітно-абразивного порошку Ферромап з розміром частинок 630/400 мкм, що

підтверджує результати досліджень абразивної і поліруючої здатності порошків, наведених в [20-21]. Найменші значення величини параметра Ra отримані при використанні різних порошків при початковій шорсткості $Ra = 1-2$ мкм наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Допустимий мінімальний рівень параметра Ra після MAO різними порошками

Тип порошка	Розмір частинок, мкм	Допустимий рівень параметру Ra после MAO, мкм	$\Delta Ra = Ra_{\text{вих.}} - Ra_{\text{кін.}}$, мкм.
Ферромап	200/100	0,08	0,82
	315/200	0,1	1,33
	400/315	0,08	1,27
	630/400	0,03	1,2-1,9
ДЧК _{нов.}	630/400	0,38	1,0
ДЧК _{б/у}	630/400	0,46	0,64
Полімам-М	400/315	1,8	0,17
ПР Р6М5	315/200	0,7	0,1
Царамам	630/400	0,17	0,83

Показано, що доцільним є використання порошків з осколковою формою частинок з великою кількістю ріжучих мікрокромов на поверхні частинок і з малим радіусом їх округлення [19]. Використання округлих порошків не забезпечує ефективного зниження шорсткості поверхні після фрезерування (рис.3.1). При цьому реалізується тільки їх пластичне деформування і вигладжування без необхідного диспергування матеріалу в поверхні (рис.3.4). Сліди взаємодії окремих частинок порошку з оброблюваною поверхнею особливо активно проявляються при малому робочому зазорі - 2 мм, в умовах утворення активних зон заклинювання МАІ, в яких має місце вдавнення

окремих частинок в поверхню зразка. (Рис.3.4а). При збільшенні робочого зазору на 0,6-1мм і більше, коли істотно нівелюються умови заклинювання МАІ в робочому зазорі відбувається пластичне деформування і вигладжування мікровиступів без їх видалення. Тобто сліди микронерівностей поверхні, отримані на етапі фрезерування - мікрохвилястості не видаляються, а тільки трішки зменшуються. Аналогічні результати отримані при МАО порошком ПР Р6М5.

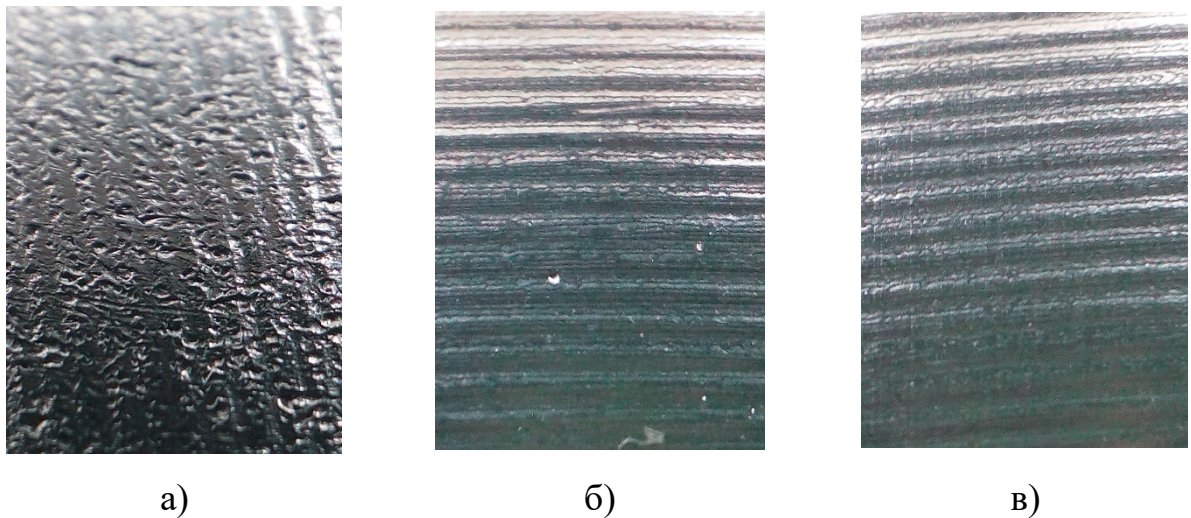


Рис. 3.4 Зовнішній вигляд попередньо фрезерованої поверхні деталі після МАО порошком Полімам - М (400/315 мкм) з різною величиною робочого зазору:

а) 2 мм, б) 2,6 мм в) 3 мм

Таким чином, найважливішим технологічним параметром при МАО площин циліндричним пристосуванням буде величина робочого зазору. Слід відзначити і той факт, що незважаючи на рекомендації по вибору оптимального розміру порошку за даними вихідної шорсткості [21] і досяжною після МАО шорсткістю, найкращі результати отримані при використанні порошку Ферромап з розміром частинок 630/400 мкм. Більш докладні дослідження зі зміни параметра R_a порошками з осколковою формою частинок на прикладі порошку Ферромап з різним розміром частинок, різними робочими зазорами і різною величиною вихідної шорсткості наведені на (Рис.3.5). Отримані

результати дозволяють припустити, що процес формування МАІ, безпосередньо його форма і характер розташування магнітно-абразивних частинок і їх груп по відношенню до оброблюваної поверхні будуть робити істотний вплив на кінцевий результат обробки.

Встановлено, що раціональне варіювання величиною робочого зазору дозволяє управляти процесом диспергування матеріалу з поверхні. Встановлено взаємозв'язок між величиною робочого зазору - h і розміром часток використовуваного порошку - λ . При визначенні раціональних величин робочих зазорів, необхідних для обробки, з метою отримання мінімальної шорсткості плоских поверхонь деталей виготовлених із Сталі 45 в процесі MAO циліндричним пристосуванням з використанням, описаних вище, магнітно-абразивних порошків встановлена лінійна залежність виду: $h = 4,96 \lambda + 1,5$, де h - величина робочого зазору, мм; λ - середня площа частинок магнітно-абразивного порошку в фракції, мм.

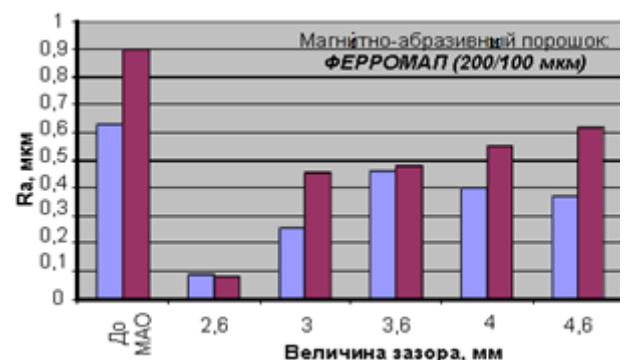
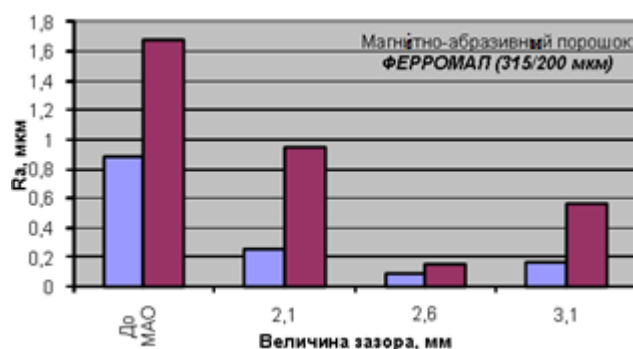
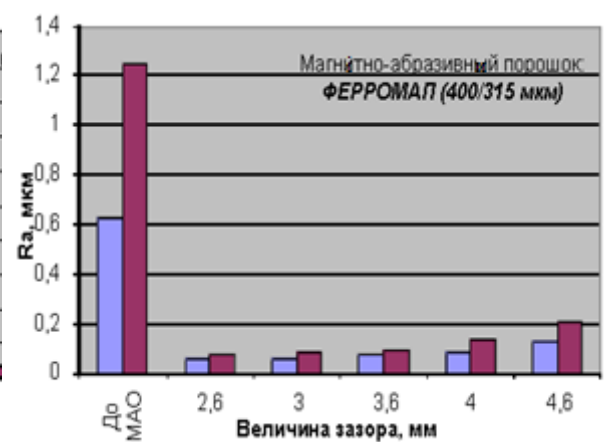
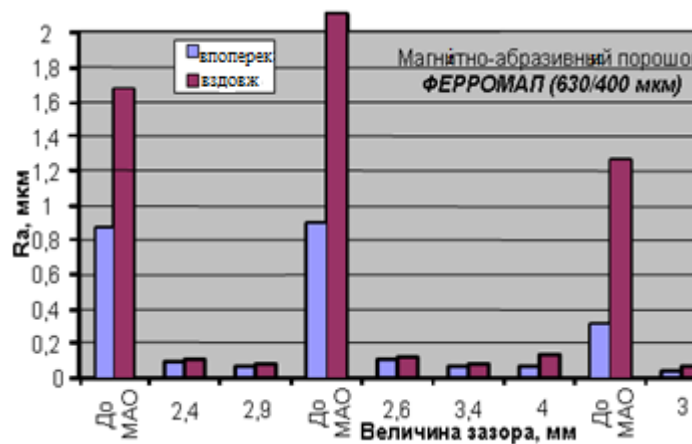


Рис.3.5. Досяжна шорсткість поверхні після МАО порошком Ферромап при різному фракційному складі і величиною робочого зазору.

Вільний член в наведеному рівнянні характеризує той мінімальний зазор, менше якого буде проявлятися активне шаржування порошковим матеріалом оброблюваної поверхні або її пластичне деформування. Проведені тестові експерименти на різних порошках при використанні робочого зазору величиною $h = 1,2 - 1,4$ мм повністю підтвердили це припущення. Фотографії оброблених поверхонь наведені на (Рис.3.4а), (Рис.3.6).



а)



б)

Рис.3.6 Зовнішній вигляд поверхонь після МАО порошками а) -ДЧК (630 / 400мкм), б) Ферромап (630/400 мкм) при використанні робочих зазорів менше 1,4 мм

На наступному етапі досліджень було проаналізовано вплив різних швидкостей обертання інструменту і подачі на характер зміни параметра R_a . Роботи виконували при використанні порошку Ферромап з розміром частинок 630/400 мкм, який показав найкращі результати на попередніх етапах. Зміна величини параметра R_a після МАО з величиною робочого зазору 4,6 мм і поперечної подачі 10 мм / хв залежно від частоти обертання циліндра наведені на (Рис.3.7).



Рис.3.7 Зміна параметра R_a обробленої методом МАО плоскої поверхні при різних частоті обертання інструменту.

Показано, що найкращі результати – найменша шорсткість поверхні після МАО отримані при частоті обертання головки 900 об/хв. Дані результати близькі до оптимальних частот обертання магнітних головок наведених в [22; 23]. Зовнішній вигляд оброблених поверхонь при двадцятикратному і чотириразовому збільшенні і профілограми поверхні після МАО з частотою обертання інструменту 900 об / хв представлені на (Рис.3.8). Слід зазначити, що при зазначених умовах МАО практично повністю відбувається видалення мікрохвилястості, а на обробленій поверхні ідентифікуються тільки сліди мікронеровностей від МАІ. Наявність екстремального зниження рівня R_a при частоті обертання 900 об / хв пояснюється співвідношенням нормальних і тангенціальних складових сил взаємодії МАІ з оброблюваною поверхнею. При частоті 580 об / хв величина тангенціальної складової сил, що відповідає за диспергування матеріалу з поверхні, не достатня, в той час як при швидкостях обертання 1120 об / хв і вище, скоріше за все, буде мати місце активне прослизання частинок ферроабразивного порошку по поверхні, що не забезпечує сприятливих умов для протікання процесів мікрорізання. Важливо відзначити, що раціональне співвідношення нормальної і тангенціальної сил взаємодії МАІ з поверхнею буде багато в чому визначатися величиною робочого зазору, магнітними властивостями порошкового магнітно-абразивного матеріалу і присутністю в зоні обробки ЗОМТС. Визначення оптимальних співвідношень зазначених складових сил в залежності від умов МАО вимагає додаткових досліджень.

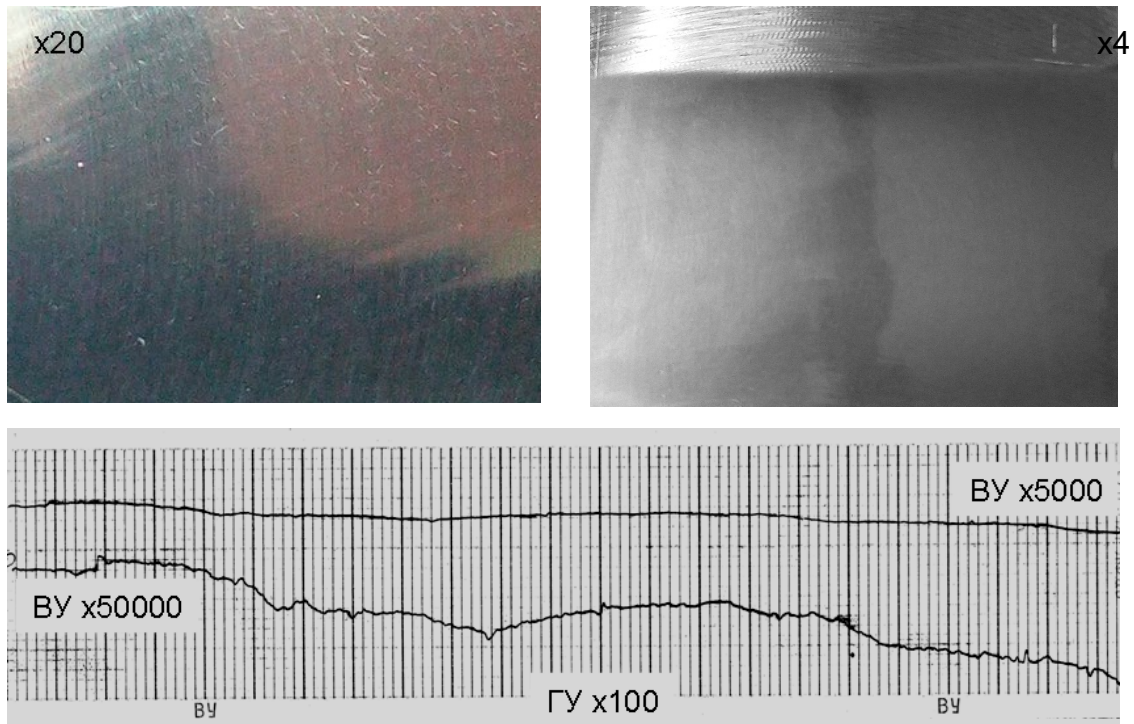


Рис.3.8. Зовнішній вигляд і профілограми поверхні після МАО
циліндричною голівкою

Було досліджено вплив швидкості подачі голівки в процесі МАО на зміну шорсткості поверхні. У даній серії експериментів використовували магнітно-абразивний порошок з розміром частинок 630/400 мкм при обробці з робочим зазором $h = 4$ мм і частоті обертання головки 900 об / хв. Отримані результати наведені у вигляді гістограм на (Рис.3.9). Показано, що при швидкостях подачі більше 25 мм / хв процес МАО стабілізується, а при менших швидкостях відбувається процес «виходжування» микронерівностей, що сприяє видаленню мікрохвилястості, отриманої на стадії підготовки поверхні при фрезеруванні.



Рис.3.9. Зміна параметра Ra обробленої методом MAO плоскої поверхні при різних швидкості поперечної подачі циліндричним пристосуванням.

Докладніший аналіз формованої після MAO шорсткості поверхні був виконаний за результатами дослідження зміни відносної величини опорної поверхні в залежності від відносного рівня висоти мікронерівностей. Типові залежності зміни опорної довжини профілю для поверхонь, отриманих після MAO порошком Ферромап 630/400 мкм (рис.6а) при різних вихідній поверхні отриманої після фрезерування представлені на (Рис.3.10). Аналіз отриманих результатів дозволив ідентифікувати умови обробки, при яких можлива переважна обробка мікро виступів на шорсткій поверхні або мікровпадин. Характерні криві, які показують переважну обробку мікровиступів при різних вихідних поверхнях, отримані після MAO круглими магнітами з величиною робочого зазору більше 2,2 мм. У разі, коли величина зазору $h \leq 2,4$ мм відбувається переважна розполіровка мікровпадин. Оцінити умови переходу від мікровпадин до мікровиступів можна за значеннями точок перегину величиною - р на залежностях, які визначають за методикою, наведеною в [20,24]. Характерні значення положення точок перегину на кривих опорних поверхонь мікропрофілю, отриманих після MAO порошком Ферромап при різних вихідних поверхнях, сформованих після фрезерування, представлені у вигляді гістограм для різних зазорів, розмірів частинок порошку представлені на

(Рис.3.11). Для зазначених значень обробка виконувалася при швидкості обертання робочої головки 900 об / хв.

Слід зазначити, що процес МАО з використанням порошків з округлою формою частинок (Полімам-М, ПР Р6М5) не привів не тільки до суттєвого зменшення параметра R_a , а й до зміни форми кривих, а отже і зміни положення зони переходу від мікровпадин до мікровиступів.

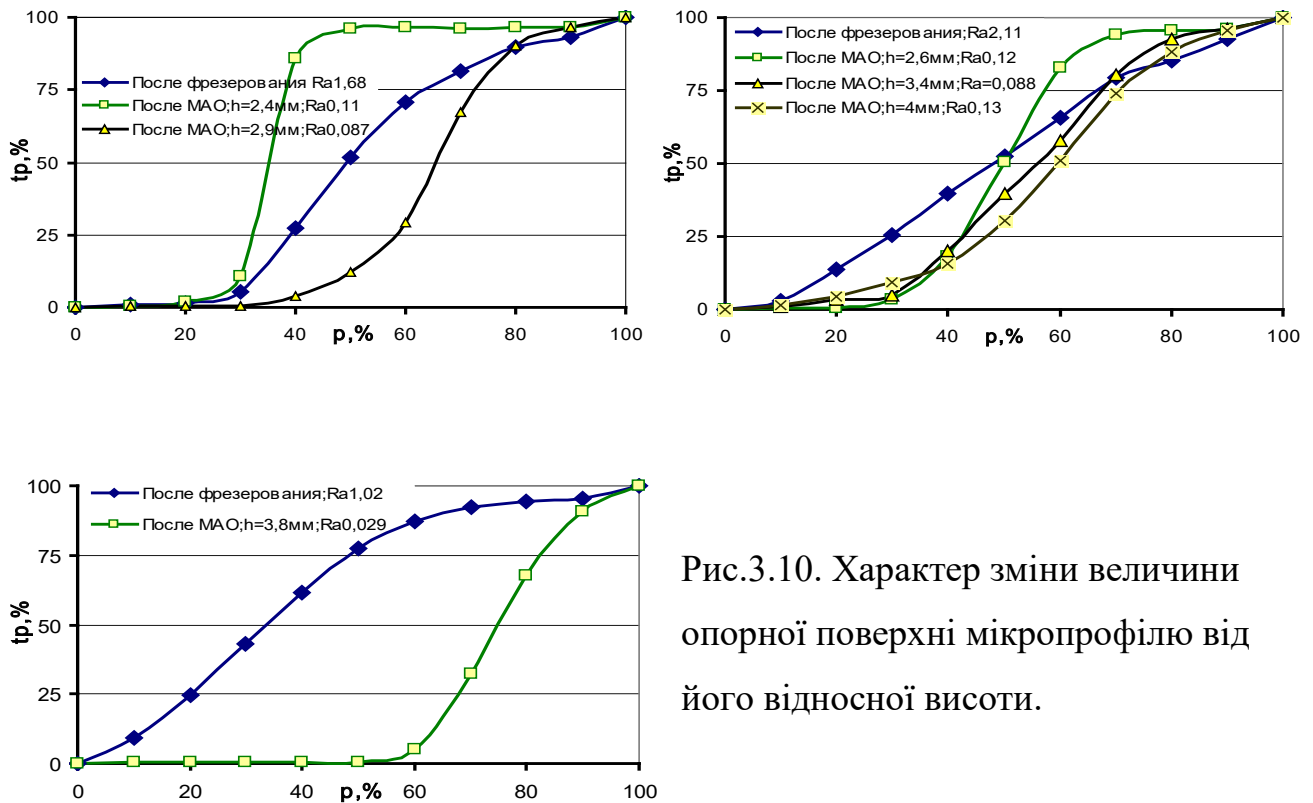


Рис.3.10. Характер зміни величини опорної поверхні мікропрофілю від його відносної висоти.

Аналіз розташування зон переходу від виступів до западин, вище наведені дані про зміну параметра R_a в результаті МАО, показали, що зміщення зони переходу від мікровпадин до мікровиступів в область значень більших за $p = 0,5$ свідчить про активне зниження хвилястості оброблюваної поверхні, отриманої на стадії фрезерування. Подібні результати наведені на (рис.11 а, в) при МАО з робочими зазорами h більшими за 3 мм в залежності від вихідної шорсткості і застосовуваного магнітно-абразивного порошку. Відзначимо, що як і для раніше отриманих результатів зміни параметра R_a , найбільш раціональні види опорних поверхонь характерні для умов МАО порошком Ферромап з розміром частинок 630/400 мкм, який має підвищену абразивну

здатність, яка визначається реологічними характеристиками, намагніченістю і здатністю до формування досить стійких квазістабільних формувань в МАІ [20] в порівнянні з більш дрібними. Для МАІ, сформованого з більш дрібних порошків має місце зміщення зони переходу від мікровиступів до мікровпадин шорсткістю поверхні в області значень $p < 0.5$, що особливо добре виявляється при МАО порошком з розміром частинок 200/100 мкм. Це пов'язано з тим, що більш дрібні порошки краще нівелюють щодо оброблюваної поверхні, забезпечуючи розполіровку мікровпадин.

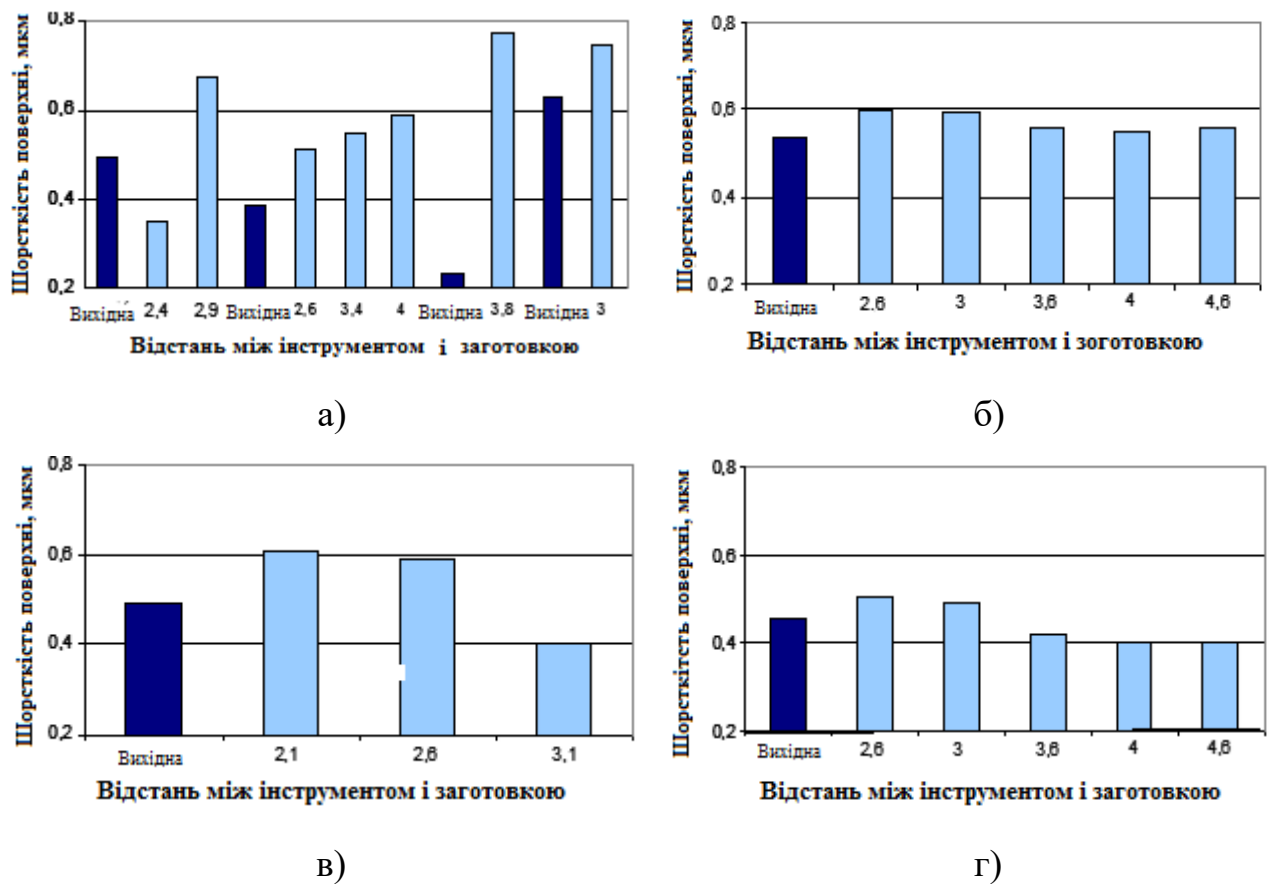


Рис.3.11 Положення точок перегину на кривих опорних поверхнях мікропрофілю, отриманих після МАО порошком Ферромап при різних вихідних поверхнях, сформованих після фрезерування, для різних зазорів і розмірів частинок порошку: а) 630 / 400мкм, б) 400 / 315мкм, в) 315 / 200мкм, г) 200/100 мкм.

Обробка попередньо шліфованих зразків при частотах обертання робочої головки 900 об / хв і 1400 об / хв і величиною робочого зазору 2,8 мм порошком

марки Ферромап з розмірами частинок 630/400 мкм, 315/20 мкм і 200/10 мкм показали можливість формування мікропрофілю з величиною R_a на рівні 0,031-0,047 мкм і величиною R_z на рівні 0,23-0,46 мкм при вихідних 0,15 і 1,07 мкм, відповідно, в залежності від напрямку шліфування. Отримані результати представлені на (Рис.3.12).

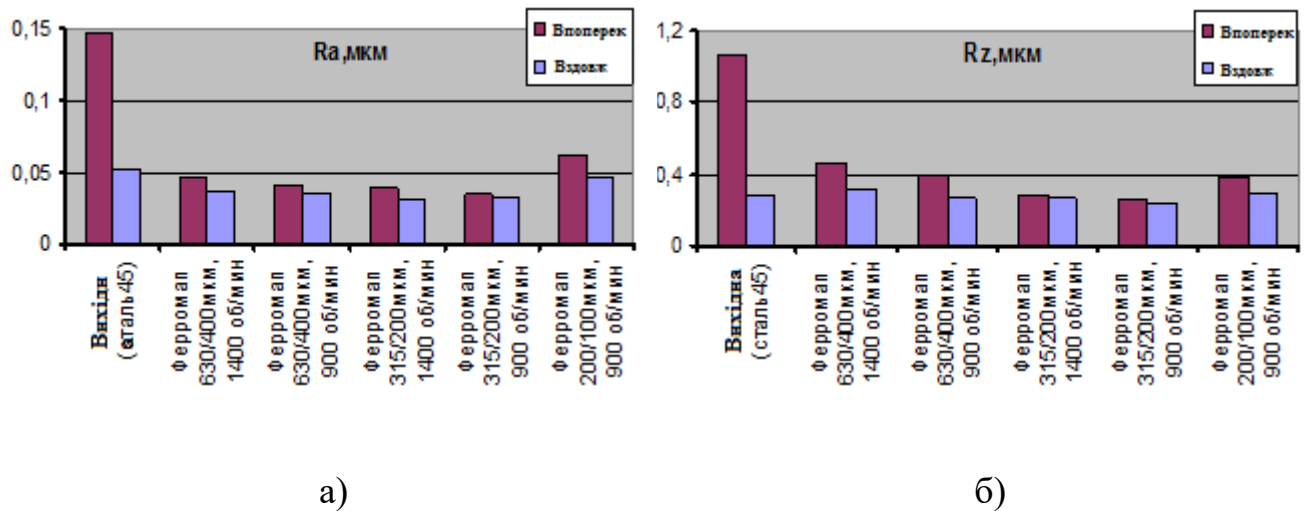


Рис.3.12 Зміна параметрів мікропрофілю плоскої поверхні після МАО різними порошками при різній частоті обертання магнітних кілець.

Аналіз зміни величини опорної поверхні отриманого мікропрофілю показав, що найкращі результати отримані при використанні порошку Ферромап з розміром частинок 315/200 мкм, коли зона переходу від виступів мікронерівностей до западин (Рис.3.13) розташовується на відносній висоті профілю $p > 0,52$ отн. од., що свідчить про найменші кількості мікровиступів на обробленій поверхні в порівнянні з використанням порошоків з іншими розмірами зерен.

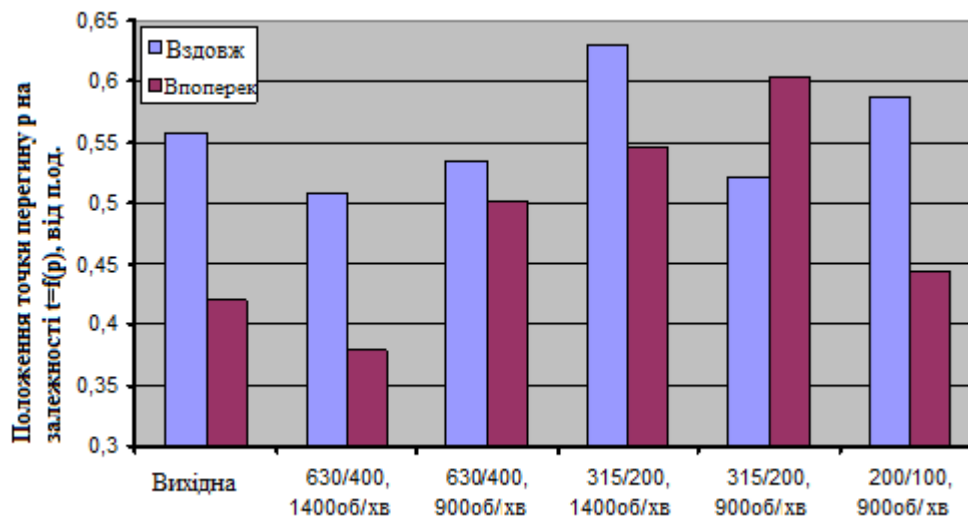


Рис.3.13 Положення точок перегину на кривих опорних поверхнях мікропрофілю, отриманих після МАО порошком Ферромап з різним розміром частинок і частотою обертання робочої головки.

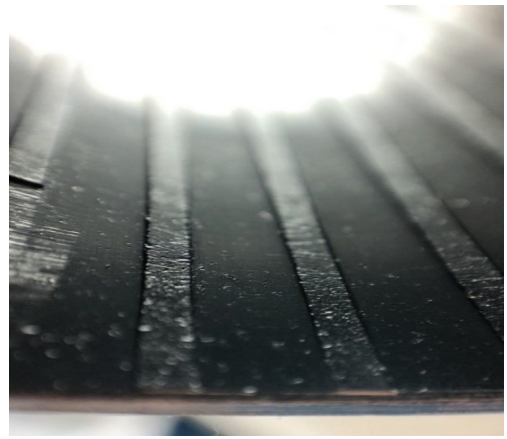
Висновок: експериментальні дослідження були проведені на плоскій поверхні зі Сталі 45 різними за типом, розмірами і формою магнітно-абразивними порошками. Дані досліди показали, що найменша шорсткість була отримана МАП марки Феромап 630/400. Даний порошок має осколкову форму частинок з великою кількістю різальних мікрокромок. Ця характеристика забезпечує зняття шару матеріалу без виглажування. Найкращі дані були отримані при значенні робочого зазору $h=3$ мм, частоті обертання інструменту 900 об/хв, подачі 10 мм/хв. Дані значення є оптимальними, так як відбувається практично повністю видалення мікрохвилястості, а на обробленій поверхні ідентифікуються тільки сліди мікронеровностей від МАІ.

3.2 МАО внутрішніх циліндричних поверхонь

Першу марку порошку яку було випробувано на заготовці з внутрішньою нарізю — це Феромап 630/400 з величиною зазору 2 мм між заготовкою та пристосуванням з використанням ЗОР (Асфол). На (рис.3.14) представлено зовнішній вигляд поверхні після МАО в чого отримали покращення шорсткості в 3 рази. Різницю між попередньо обробленою поверхнею і після МАО представлено на (Рис.3.15)



а)



б)

Рис.3.14 Поверхня заготовки з гвинтовою нарізкою до обробки (а) та після (б)

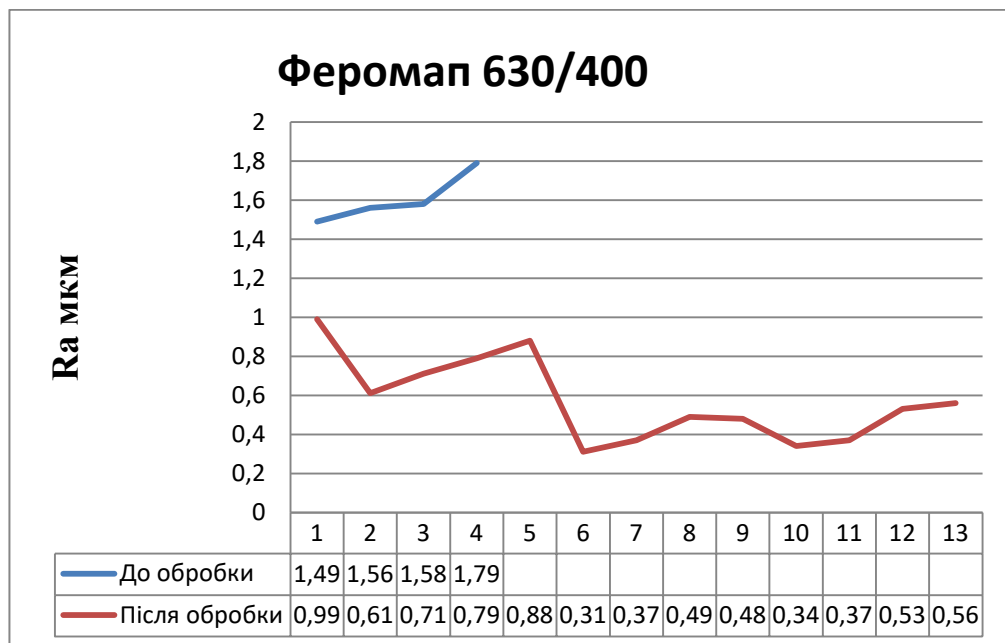


Рис.3.15 Вплив обробленнч порошком Феромап 630/400 мкм на шорсткість поверхні до та після МАО

Другий експеримент проводився з тим самим МАП (Феромап 630/400мкм), але вже на гладкій заготовці з марки Сталь 3 (Рис.3.16). Відстань між заготовкою та інструментом складала 2-2.5 мм, оберти шпинделя — 900 об/хв., а час обробки 18 хв. Змазуючо-охолоджувальна рідина — Асфол. Поверхня стала дзеркальною, а шорсткість зменшилась в 2,5 рази, результати

даного експерименту наведено на (Рис.3.17). Хвилястість поверхні, яка була після токарної обробки зникла.



Рис.3.16 Поверхня заготовки обробленої порошком Феромап 630/400мкм

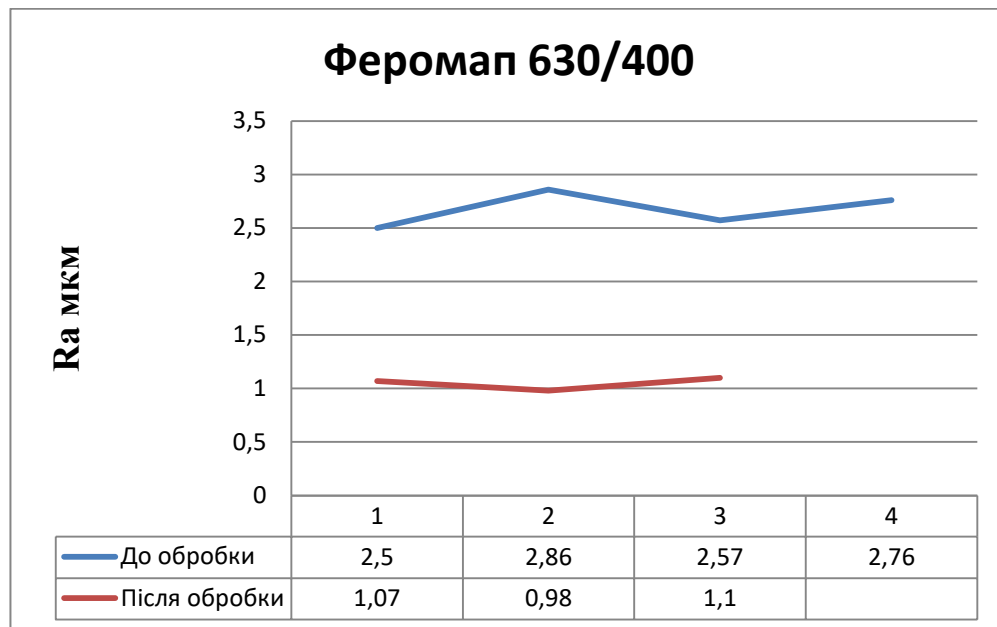


Рис.3.17 Вплив порошку Феромап 630/400 на шорсткість поверхні до та після
МАО

В подальшому виконували обробку МАП марки Феромап 200/100 мкм (Рис.3.18). Відстань при цьому складала близько 3 мм між заготовкою та інструментом, час обробки дорівнював 6 хв., а також було використано змазуючо-охолоджувальну рідину — Асфол.

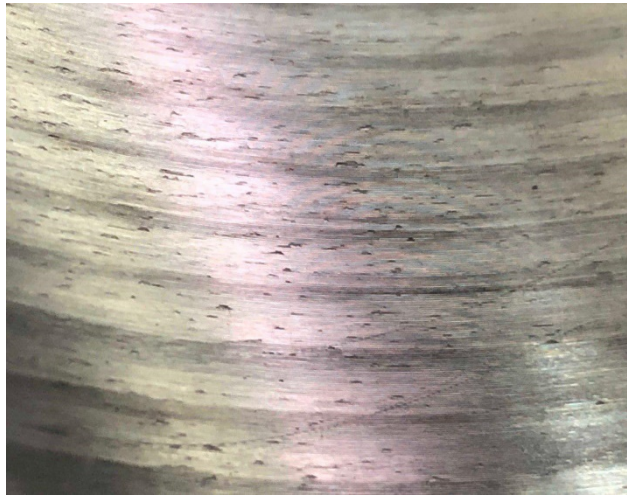


Рис.3.18 Поверхня після обробки Феромап 200/100

Даний порошок не дав низької шорсткості (2,4 – 2,7 мкм), так як він прибрав мікронерівності, а великі нерівності, що визначають хвилястість поверхні після токарної обробки залишилися незмінними (Рис.3.18). Шорсткість зменшилась, різниця між поверхнею до обробки і після складає 0,2-0,5мкм. Це незначна різниця, але ми побачили, що даний порошок був би більш ефективним після обробки МАП з використанням крупних зерен.

На наступному етапі процес МАО виконували з МАП Полімам М 400/315. Відстань між заготовкою і інструментом складала 3.5мм. Оберти були близько 900 (об/хв). Час обробки дорівнював 5 хв. Також використовувалась ЗОР Асфол. Поверхня стала краще ніж після використання МАП Феромап 200/100, а величина шорсткості зменшилась в 2.2 рази (Рис.3.19). Результати було занесено в (Рис.3.20).

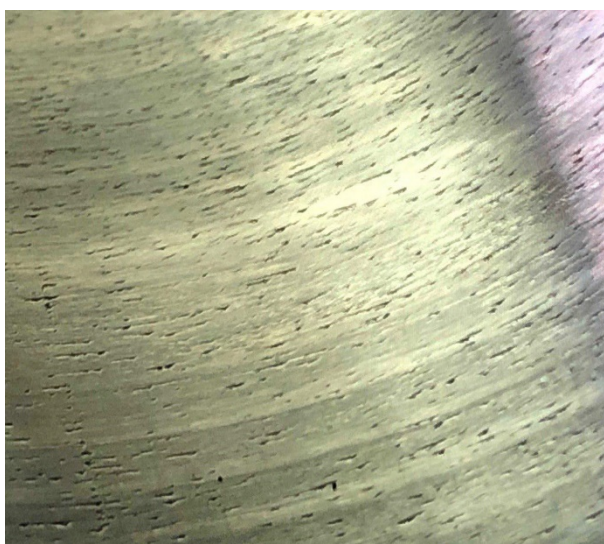


Рис.3.19 Поверхня після обробки Полімам-М

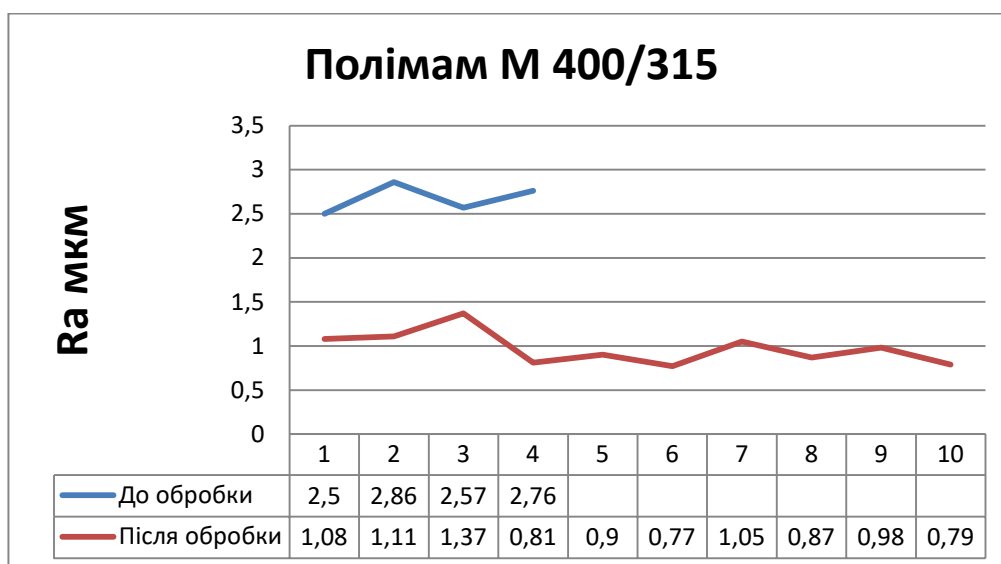


Рис.3.20 Вплив порошку Полімам-М на шорсткість поверхні до МАО та після

Додатково було проведено МАО з використанням порошку S330. Різниця даного МАП в порівнянні з рештою це великі зерна порошку, які схожі на кульки, розмір яких складав 1200/1000 мкм. Відстань складала 4 мм, це була найбільша відстань в зв'язку з розміром зерен. Час обробки складав 2хв, оберти — 500об/хв., ЗОР — Асфол. Даний порошок був досить агресивним до поверхні заготовки, зерна МАП збільшили канавки які були в матеріалі (Рис.3.21).



Рис.3.21 Поверхня після оброблення порошком S330

Але шорсткість при цьому зменшилась в 2.4 рази (Рис.3.22).

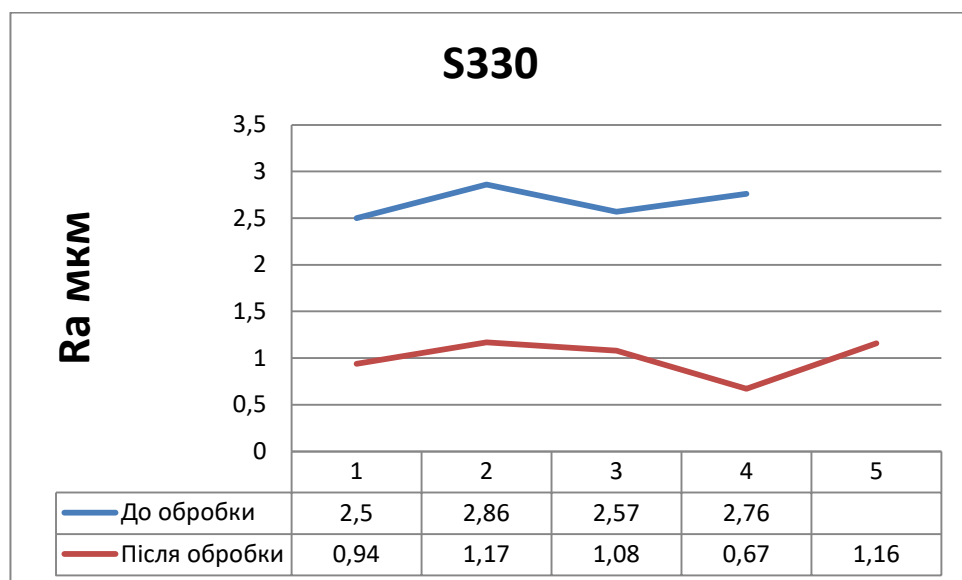


Рис.3.22 Вплив порошку S330 на шорсткість
поверхні до МАО та після

Висновки: було оброблено як гладкі поверхні обертання так і з наріззю чотирма видами порошку. МАП Феромап 200/100 має мілку зернистість, тому результати після оброблення зменшились на 0.2-0.5 мкм. Умови при яких велась обробка: відстань між інструментом 3 мм, час обробки 6 хв. МАП Полімам-М 400/315 краще обробив поверхню ніж попередній порошок, зменшивши Ra в 2.2 рази. Умови оброблення: час — 5хв, частота обертання 900 об/хв, робоча відстань 3.5 мм, також використовувалась змащуючо-охолоджувальна речовина. Наступний порошок був марки S330. Різниця даного

МАП в порівнянні з рештою це великі зерна порошку, які схожі на кульки, розмір яких складав 1200/1000 мкм. Умови оброблення: час — 2 хв, частота обертання 500 об/хв, робоча відстань 4мм. А також використовувався Феромап 630/400. Даний порошок показав себе найкраще. Так як шорсткість після оброблення зменшилась в 2.5 рази в порівнянні з початковою. Відстань між заготовкою та інструментом складала 2.5 мм, а швидкість обертання — 900 об/хв. Початкове значення шорсткості після операції точіння дорівнювало 1,50 – 1,70 мкм., після обробки 0,30 – 0,50 мкм.

РОЗДІЛ 4

СТАРТАП-ПРОЕКТ

Стартап впродовж останнього десятиліття набув широкого розповсюдження у світі через зниження бар'єрів входу в ринок: із появою Інтернету як інструменту комунікацій та збуту стало простіше знаходити споживачів та інвесторів, займатись пошуком ресурсів, перетинати кордони між ринками різних країн, доносити свою думку до інвестора. Стартап-проект вважається однією із наріжних складових інноваційної економіки, оскільки за рахунок мобільності, гнучкості та великої кількості стартап-проектів загальна маса інноваційних ідей зростає. Проте створення та ринкове впровадження стартап-проектів відзначається підвищеною мірою ризику, ринково успішними стає лише невелика частка, що за різними оцінками складає від 10% до 20%. Головне завдання стартап проекту - перетворення ідеї проекту у працюючу бізнес-модель, що починається із формування концепції товару (послуги) для визначеної клієнтської групи за наявних ринкових умов. Розроблення та виведення стартап-проекту на ринок передбачає здійснення низки кроків, в межах яких визначають ринкові перспективи проекту, графік та принципи організації виробництва, фінансовий аналіз та аналіз ризиків і заходи з просування пропозиції для інвесторів.

4.1 Опис ідеї проекту

Ідея проекту полягає в розробленні пристосування для магнітно абразивної обробки внутрішніх циліндричних поверхонь. Пристосування призначене для підвищення якості поверхні після попередньої обробки, а саме фінішної обробки. Установка є не великою за розмірами та універсальною в експлуатації в зв'язку з елементарною схемою збирання.

Проаналізувавши всі методи фінішного оброблення деталей (алмазне шліфування, віброабразивне оброблення), запропонований метод магнітно-абразивної обробки дозволяє покращити якість деталей комплексно, а не окремі

показники. Саме пристосування просте та надійне у використанні. Також можна використовувати не тільки для обробки внутрішніх циліндричних поверхонь, а й плоских, про що розповідалось вище. Окрім того такий метод обробки характеризується високою точністю та якістю обробленої поверхні, що безумовно надає цьому методу перевагу над іншими.

Отже, запропонована ідея є доцільна у використанні на підприємствах тому, що не потрібно купувати нові деталі, а можна переточити чи профезерувати старі і обробити методом МАО. Дана установка дозволить швидко обробити зношені поверхні і відновити якість поверхні деталі. Після полірування поверхневий шар зміцниться.

4.2. Можливі напрямки застосування

Дана ідея направлена на використання як на великих підприємствах так і на малих. У зв'язку з великою економічною доцільністю, малими габаритами та універсальністю. Зміна параметрів та габаритів пристосування займе не багато часу, так як схема збирання аналогічна.

4.3. Основні вигоди, що може отримати користувач товар

Користувач товару може отримати вигоду в часі та коштах, розмірах обладнання, універсальності, а саме головне в якості оброблених поверхонь. Після оброблення зникають мікронерівності після попередньої обробки, зменшується шорсткість, стійкість збільшується в 2 рази, твердість поверхневого шару збільшується на глибину 150-170 мкм, відсутня рихлість поверхні, а за рахунок обрання раціональних умов обробки можна підвищити роботоздатність деталі в 2,5-3 рази. Перевага використання пристосування на підприємствах чи в приватному виробництві не потребує від працівників високої кваліфікації, що значно зменшує час на навчання, а отже більш швидке використання.

Зведені параметри запропонованої ідеї наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 Опис ідеї старап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розробка установки для оброблення внутрішніх циліндричних поверхонь методом магнітно-абразивної обробки деталей	1. Військова промисловість	Висока якість поверхні після оброблення, низька собівартість пристосування та матеріалів, які використовуються для обробки, універсальність, досить швидка обробка, не потрібна висока кваліфікація працівників
	2. Автомобільна промисловість	Точність деталей, собівартість
	3. Авіаційна промисловість	Підвищення якості та стійкості деталі, універсальність, час обробки

4.4. Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї

Аналіз проводився за такими техніко-економічними характеристиками як економічність, технологічність, надійність та експлуатація. Дані критерії входять до методик оптимізації технологічних процесів та є такими, що висвітлюють найбільш об'єктивне положення в галузі машинобудування.

До основних конкурентів можна віднести наступні компанії: Supfina, OTEC Präzisionsfinish GmbH, Salvagnini. Компанія Supfina спеціалізується на алмазному шліфуванні та випускає устаткування LCM Crank. Даний метод набув широкого розповсюдження за рахунок зміцнення тонкого поверхневого шару та формуванні там стискаючих напружень, величина яких залежить від процесу оброблення, зростає втомна міцність, підвищується твердість поверхневого шару, після чого працездатність деталі значно підвищується. Але при недотриманні режимів оброблення відбувається протилежний ефект і в поверхневому шарі формуються несприятливі розтинаючі напруження,

внаслідок чого на поверхні можуть виникати мікротріщини. Також розміри даного устаткування дуже великі, що означає відведення досить великої ділянки приміщення.

Компанія Salvagnini спеціалізується на струминно-абразивному обробленні та випускає устаткування Metalfinishing Turbo 1x9w. Даний метод оброблення підвищує міцність та роботоздатність деталей. Суть процесу струминно-абразивного оброблення полягає в тому, що на оброблювану поверхню діє зі значною швидкістю струмінь абразивних зерен, які виконують зміцнення поверхні та зміну її мікрогеометрії. Відзначимо, що при обробленні деталей, які мають складну просторову форму має місце низька ефективність оброблення всіх поверхонь, що відбувається через направлену дію потоку на оброблювану поверхню. Для запобігання даному недоліку необхідно використовувати декілька різнонаправлених струменів або задавати йому складну траєкторію руху, що значно ускладнює конструкцію устаткування. Відзначимо, що на деталі можуть утворюватись сколювання, викришування в результаті постійних мікроударів зерен по оброблюваній поверхні. Складним є контролювання зміни форми, також даний метод оброблення поверхонь може приводити до погіршення їх шорсткості, що негативно впливає на якість виробів.

Компанія OTEC Präzisionsfinish GmbH спеціалізується на обробці у вільному абразиві та випускає устаткування OTEC DF70. В процесі оброблення деталі здійснюють планетарний рух в абразивному середовищі з метою забезпечення рівномірного оброблення деталі та полірування поверхонь. Під час оброблення різні частини довгомірних деталей знаходяться на різній глибині в робочому середовищі, що супроводжується різними величинами сил, які діють на ці оброблювані елементи, що спричиняє нерівномірне оброблення по довжині оброблюваних деталей. При шліфуванні твердого сплаву виникають не достатні зусилля притискання зерен до оброблюваних поверхонь, що може значно знизити продуктивність роботи та збільшити час оброблення.

Порівняння з виробниками-конкурентами наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		<i>Miy project</i>	<i>Supfina</i>	<i>Salvagnini</i>	<i>OTEC Präzisionsfinish GmbH</i>			
1.	Технічні	Простота конструкції, універсальність, габарити					+	
2.	Економічні	Низька собівартість, можливість використання на багатьох станках						+
3.	Технологічні	Можливість обробки різних за розмірами деталей за аналогічною схемою збирання інструменту як наведено вище						+
4.	Надійності	Мала кількість деталей та відсутність елементів, які можуть скамовільно вийти зі строю					+	
5.	Експлуатаційні	Висока зносостійкість						+

4.5. Технологічний аудит ідеї проекту

Технологія виготовлення є однією з основних факторів, які впливають на успішність ідеї на ринку. Для оброблення деталі даним пристосуванням використовують дві схеми. Перша схема, коли діаметр пристосування співпадає з діаметром отвору оброблюваної деталі, ми маємо співвісність, при цьому інструмент виконує як обертальний так і поступальний рух, а заготовка

залишається нерухомо закріпленою, відстань між ними близько 2-4 мм. В цьому проміжку знаходиться МАП та ЗОР. Друга схема — коли діаметр оброблювальної деталі більший. Інструмент і заготовка вже не співвісні, МАІ виконує обертальний та поступальний рухи, а заготовка обертальний. При цьому інструмент притискається до стінки заготовки на відстань між ними 2-4мм.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту наведено в табл. 4.3.

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації Наявність технологій	Наявність технологій	Доступність технологій
	Розробка установки для оброблення внутрішніх циліндричних поверхонь методом магнітно-абразивної обробки деталей	Технологія 1 : обробка проводиться між співвісними інструментом та деталлю, інструмент однакового діаметру із деталлю, деталь закріплено нерухомо.	Технологія наявна.	Доступна
		Технологія 2 : неспіввісність між деталлю та інструментом, обробка по контуру деталі, деталь виконує обертальний рух.	Технологія наявна.	Доступна

Обрана технологія реалізації ідеї проекту: було використано дві технології.

Висновок: розглянувши обидві технології можете зробити висновок, що як перша так і друга має право на існування. Вони призначені для обробки різних по діаметру деталей. В одному випадку можна обробляти невеликі отвори інструментом такого ж діаметру, як і отвір. Якщо потрібно обробити більший діаметр можна використати цей же МАІ так як він універсальний. Інструмент буде обробляти поверхню деталі по контуру. Питання в тому скільки це займе часу. Якщо потрібно якнайшвидше обробити тоді слід використати МАІ більшого діаметру. Конструкції даних інструментів універсальні.

4.6. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Таблиця 4.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	4-6
2	Загальний обсяг продаж, ум.од/рік (Україна)	Невідомо
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	—
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Не має
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	—

Можна зробити висновок, що дане пристосування ще не досить відоме. Є багато розроблень закордоном, але провідних фірм в даній галузі поки немає.

Все знаходиться на етапі розробки або використання на закритих підприємствах. Цінова політика дуже різниться із закордонними зразками. Тому входити в дану нішу можна з легкістю, потрібні лише кошти для старту та знання в даній галузі. Так як ціни в Україні набагато нижчі ніж закордоном, дана ідея не потребує великих фінансів.

Попит на ринку України є досить високим незважаючи на дану ситуацію в країні. Дане пристосування потрібне як у військовому виробництві так і в літакобудуванні. Не мало на даний час відкривається приватних компаній на території нашої держави, які потребують фахівців в даній узькій галузі. Також через девальвацію гривні можна скласти конкуренцію закордонним фірмам. Різниця в вартості є досить значною.

Потенційні групи клієнтів, їх характеристики та перелік вимог то товару наведено в табл. 4.5.

Таблиця 4.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i>	<i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i>	<i>Вимоги споживачів до товару</i>
1	Якість поверхні	Великі підприємства, приватні виробництва	Розроблення під кожного клієнта конструкції яка б підходила для тої чи іншої деталі	Задоволення споживача якістю поверхні
2	Ціна	Великі підприємства, приватні виробництва	Розроблення пристосування одного розміру для різноманітних розмірів заготовок, але втрати в часі, або ж виготовлення декількох	Мінімальна ціна, довговічність роботи пристосування

			інструментів, але більша вартість	
3	Відновлення поверхні старої деталі	Великі підприємства, приватні виробництва	Як великі так і малі підприємства хочуть економічно використовувати свої грошові ресурси	Відновлення старої деталі, можливість покращити поверхню або відновити до попереднього стану
4	Час обробки	Великі підприємства, приватні виробництва	Акцент на високій швидкості оброблення інструменту.	Максимально швидке оброблення деталей, при цьому якість повинна залишатись високою

4.7. Аналіз ринкового середовища

Нижче наведено таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. № 4.6-4.7).

Таблиця 4.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Новий метод обробки	Покращення якості, менші економічні витрати	Розробка нового пристосування
2	Проблеми з постачанням матеріалів	Залежить від видобутку матеріалів, монополісти в даній сфері	Перемови з постачальниками матеріалів, підписання договорів на тривалий термін

3	Розроблення нових компонентів, які не потребують даної обробки	Винайдення нових, кращих матеріалів, які задовольняли б покупця	Зменшення вартості, покращення обробки
---	--	---	--

Таблиця 4.7. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Постійне удосконалення інструменту	Зменшення собівартості, модернізація пристосування, розробки більш універсальних пристосувань	Постійний ріст
2	Нові ринки збуту	Можливість більшого заробітку, партнерство з іншими країнами, підприємствами	Інвестиції в рекламу, показ продукції на світових ринках
3	Перегнати конкурентів за рахунок більш тісного спілкування з клієнтами	Зайняти лідерство серед конкурентів	Індивідуальний підхід до кожного великого замовника, зустрічі

Загальні риси конкуренції на ринку наведено в табл. 4.8.

Таблиця 4.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i>
1. Тип конкуренції — чиста	На ринку знаходиться багато світових фірм, але лідера серед компаній в даній галузі немає	Виходи на світові ринки збуту за рахунок високої якості і низької ціни
2. За рівнем конкурентної боротьби міжнародний	Багато компаній по всьому світу, провідні знаходяться в Японії, Німеччині та США	Налагодження комунікацій із закордонними покупцями, розвиток логістики
3. За галузевою ознакою внутрішньогалузева	Спеціалізація виробників на виготовленні установки. В меншій мірі присутня міжгалузева конкуренція.	Постановка задач над конкретними ідеями
4. Конкуренція за видами товарів: - між бажаннями	Все залежить від побажань замовника	Представлення різних видів установки, а також виготовлення під замовлення
5. За характером конкурентних переваг - цінова/не цінова	Конкуренція за рахунок зниження цін та підвищення якості	Знайти компроміс
6. За інтенсивністю - марочна	Бренд вирішує все	Зробити гарне ім'я компанії за рахунок бренду

Перелік факторів конкурентоспроможності наведено в табл. 4.9.

Таблиця 4.9. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Відсутність конкуренції в середині країни	Компанії, які займаються даними методами обробки можна перелічити на пальцях, немає універсальних пристосувань
2	Негабаритне устаткування	Досить малі розміри обладнання, можливість використання на різних верстатах, гнучкість встановлення
3	Універсальність	На даний час пристосування такого типу використовуються в узькому руслі, при обробленні деталей різних розмірів потрібно замовляти новий інструмент
4	Використання ефективного методу обробки деталей	МАО комплексно покращує якісні характеристики деталей, тоді як інші методи покращують тільки один або декілька показників

Висновок: з огляду на конкурентну ситуацію, дана ідея має право виходу як на внутрішній ринок так і на світовий.

4.8. SWOT-аналіз

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (табл. 4.10) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (табл. 4.6-4.7).

Таблиця 4.10. SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> - універсальність пристосування; - простота конструкції; - малий час обробки; - мала вартість як пристосування так і самої роботи. 	<p>Слабкі сторони:</p> <ul style="list-style-type: none"> - імпортування сировини; - конкуренція яка постійно зростає.
<p>Можливості:</p> <ul style="list-style-type: none"> - виход на світові ринки; - удосконалення конструкції. 	<p>Загрози:</p> <ul style="list-style-type: none"> - спад попиту на оброблену продукцію, та метод обробки; - можливість розробки нового обладнання.

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 4.11).

Таблиця 4.11. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	<i>Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки</i>	<i>Ймовірність отримання ресурсів</i>	<i>Строки реалізації</i>
1	Розробити власне виробництво виготовлення сировини	Підписання партнерських договорів на внутрішньому ринку	1 рік

2	Вихід на нові ринки збуту (міжнародні)	Можливо за умов розвитку об'ємів виробництва та маркетингу.	1-2 роки при гарному маркетингу
---	--	---	---------------------------------

Висновок: можна зробити висновок, що розроблення власного виробництва є важливим кроком для набуття незалежності від інших компаній. Але даний крок є досить важким і на початку розвитку компанії є не доцільним. Слід знайти надійних партнерів як за кордоном так і в середині країни для початку виробництва. Згодом почати розробку та будівництво власного виробництва сировини маючи фінансову подушку. В цей час намагатися виходити на світові ринки, а з появою власної сировини зменшити собівартість і тим самим стати більш привабливими для замовників.

4.9. Розробка ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 4.12).

Таблиця 4.12. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент

1	Промислове виробництво (авіабудування, машинобудування, приладобудування)	Зацікавлені	Високий	Висока, цінова	Доступно
2	Ремонтні заводи	Зацікавлені	Високий	Висока, цінова	Доступно
Які цільові групи обрано: машинобудування, авіабудування, ремонтні заводи.					

4.10. Стратегія конкурентної поведінки

Результат аналізу наведено в табл. 4.13.

Таблиця 4.13. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	<i>Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?</i>	<i>Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?</i>	<i>Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?</i>	<i>Стратегія конкурентної поведінки*</i>

1	На даний момент є багато схожих методів обробки, але саме в такій конфігурації та практичності конкурентів немає	Компанія буде постійно розвиватись та удосконалювати свої пристосування, якщо наша продукція буде кращою на ринку до споживачі самі перейдуть до нас від інших виробників	Спільні характеристики товару продиктовані чинними стандартами та буде постійно вносити щось нове	Заняття конкурентної ніші
---	--	---	---	---------------------------

Висновок: заняття конкурентної ніші є найбільш актуальною стратегією, тому що за наведених технологій та конструкцій деталей відбувається зниження його собівартості. Це відкриває нові можливості для клієнтів, які раніше не користувались даними деталями (дає змогу застосовувати нові матеріали, оптимізувати технологічні процеси, знизити витрати тощо). Дає можливість покращити фізичні та експлуатаційні можливості тих чи інших деталей., розробляти більш точні деталі.

4.11. Маркетингова концепція товару

Формування маркетингової концепції товару наведено в табл. 4.14.

Таблиця 4.14. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Універсальність	Просте, надійне, якісне пристосування	Низькі логістичні витрати, низькі експлуатаційні витрати

2	Ремонт деталей	Обробка займає мало часу, інструменту не потрібен відпочинок перед обробкою наступної деталі	Немає зносу інструменту, не потрібно змінювати комплектуючі
3	Висока якість	Поверхневий шар ущільнюється, якість поверхні збільшується	Якість обробки не залежить від кваліфікації працівника який буде обробляти деталь

4.12. Визначення цінових меж товару

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субституту, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 4.15.). Аналіз проводиться експертним методом.

Для порівняння за одиницю ціни прийнято вартість устаткування компаній конкурентів – 25000 грн., а за переточку – 135 грн.

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	0.05..0.8	0.9..1.5		0,65..0,95

--	--	--	--	--

Висновок: межі ціни встановлено таким чином, щоб запропонований товар міг охоплювати як конкурентні галузі, так і нові, де використовують товари-замінники.

4.13. Визначення оптимальної системи збуту

Визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 4.16)

Таблиця 4.16. Формування системи збуту

№ п/п	<i>Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Функції збуту, які має виконувати постачальник товару</i>	<i>Глибина каналу збуту</i>	<i>Оптимальна система збуту</i>
	Надають вибір постачальникам з широким асортиментом продукції та логістичною доступністю	Забезпечення в необхідних об'ємах різних	В межах регіону, країни	Власна система збуту

Висновок: обрано використання власної системи збуту для безпосереднього контакту з клієнтом. За потреби допускається використовувати залучену систему збуту.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі розглянуто методи фінішних обробок, переваги та недоліки і визначено найбільш оптимальний метод обробки циліндричної поверхні, а саме магнітно-абразивна обробка.

Розроблено експериментальну модель головки для оброблення циліндричних поверхонь, з можливістю обробки заготовки такого ж діаметру, що і інструмент так і більшого, а також плоских поверхонь. При обробленні циліндричних поверхонь шорсткість покращилась в 2.5-3 рази. Це свідчить, що експериментальне пристосування було сконструйовано правильно. Значення подачі, величина зазору між інструментом та заготовкою та частота обертання підібрані відповідно.

Експериментальні дослідження були проведені на плоскій поверхні зі Сталі 45 різними за типом, розмірами і формою магнітно-абразивними порошками. Дані досліди показали, що найменша шорсткість була отримана МАП марки Феромап 630/400. Даний порошок має осколкову форму частинок з великою кількістю різальних мікрокромок. Ця характеристика забезпечує зняття шару матеріалу без виглажування. Найкращі дані були отримані при значенні робочого зазору $h=3\text{мм}$, частоті обертання інструменту 900 об/хв, подачі 10мм/хв. Дані значення є оптимальними, так як відбувається практично повністю видалення мікрохвилястості, а на обробленій поверхні ідентифікуються тільки сліди мікронеровностей від МАІ.

Було оброблено як гладкі поверхні обертання так і з нарізю чотирма видами порошку. МАП Феромап 200/100 має мілку зернистість, тому результати після оброблення зменшились на 0.2-0.5 мкм. Умови при яких велась обробка: відстань між інструментом 3 мм, час обробки 6 хв. МАП Полімам-М 400/315 краще обробив поверхню ніж попередній порошок, зменшивши R_a в 2.2 рази. Умови оброблення: час — 5хв, частота обертання 900 об/хв, робоча відстань 3.5 мм, також використовувалась змащуючо-охолоджувальна речовина. Наступний порошок був марки S330. Різниця даного

МАП в порівнянні з рештою це великі зерна порошку, які схожі на кульки, розмір яких складав 1200/1000 мкм. Умови оброблення: час — 2 хв, частота обертання 500 об/хв, робоча відстань 4мм. А також використовувався Феромап 630/400. Даний порошок показав себе найкраще. Так як шорсткість після оброблення зменшилась в 2.5 рази в порівнянні з початковою. Відстань між заготовкою та інструментом складала 2.5 мм, а швидкість обертання — 900 об/хв. Початкове значення шорсткості після операції точіння дорівнювало 1,50 – 1,70 мкм., після обробки 0,30 – 0,50 мкм.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Силка на електронне посилання:
«<http://tekhnosfera.com/sovershenstvovanie-tehnologii-magnitno-abrazivnoy-obrabotki-fasonnyh-poverhnostey>»
2. Силка на електронне посилання:
«http://publish.vntu.edu.ua/txt/IskovykhLototskyi_VibObDetUstGidPryv_579-3.pdf»
3. Силка на електронне посилання: «http://metallichekiy-portal.ru/articles/abraziv/almaznoe_shlifovanie»
4. Силка на електронне посилання: «<https://mash-xxl.info/info/226112/>»
5. Силка на електронне посилання: «<https://cyberleninka.ru/article/n/o-nekotoryh-tehnologicheskikh-vozmozhnostyah-schyotok-s-abrazivno-polimernym-voloknom>»
6. Carlos Julio Cortés Rodríguez Cutting edge preparation of precision cutting tools by applying micro-abrasive jet machining and brushing / Carlos Julio Cortés Rodríguez. – Kassel: Kassel University press GmbH, 2009. – P. 189.
7. Силка на електронне посилання: « <https://b-ok.org/book/3197785/5740f9> »
8. Барон, Ю. М. Магнитно-абразивная и магнитная обработка изделий и режущих инструментов /Ю. М. Барон. – Л.: Машиностроение, 1986. – 176 с.
9. Kulavik, AA Calculation of the magnetic forces acting on the grains of a ferromagnetic powder in the process of magnetically abrasive processing /AA Kulavik, SL Leonov, AM Ikonnikov, RV Gre -benkov // Collected Works of the III All-Russian Youth Scientific and Practical School November 29-30, 2017 "Strengthening Technologies and Functional Coatings in Mechanical Engineering", KuzGTU, Kemerovo, 2017. Access mode: <http://science.kuzstu.ru/wp-content/Events/School/utec/2017/school/pages/Articles/108.pdf>

10. Prikhod'ko, SP Magnetic-abrasive polishing by inducers on permanent magnets / SP Prikhod'ko, Yu. M. Baron // *vtotorktornoelektrooborudovanie*. -1983. - No. 5. - P. 11-14
11. Olikier, VE Powders for magnetically abrasive treatment of wear-resistant coatings / V.E. Olikier. Moscow: Metallurgy, 1990. - 175 p.
12. Leonov, SL Automatic regulation of the working gap in the case of magnetically abrasive machining of three dimensional complex surfaces / SL Leonov, AM Ikonnikov, RV Grebenkov // Materials of the 1st International scientific-practical conference "Actual problems in machine-building", Novosibirsk, 2014. - P. 162-166.
13. Prikhodko, SP The role of eddy currents in the process of magnetically abrasive processing / SP Prikhod'ko // *Finishing finishing processing methods and tools in engineering technology*. - Barnaul, 1989. - P. 104-107.
14. Krymsky, M. Distribution and consolidation of a magnetic-abrasive powder in the working gap of the machine tool / MD Krymsky // *Magnetic abrasive materials and methods for their testing*. - Kiev, 1980. - P. 92-97.
15. Konovalov, Ye. G. Pure machining of parts in a magnetic field by ferromagnetic powders / EG Konovalov, GS Shulev. - Minsk: Science and Technology, 1967. - 125 p.
16. Анализ магнитных сил в рабочем зазоре при магнитно-абразивной обработке индукторами на постоянных магнитах А.М. Иконников¹, С.Л. Леонов¹, Р.В. Гребеньков¹, А. А. Кульавик, ¹ФГБОУ ВО Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова, г.Барнаул, Российская Федерация²Ченстоховский политехнический университет, Ченстохова, Республика Польша
17. Силка на электронне посилення:
 «<http://electricalschool.info/spravochnik/material/1884-postojannye-magnityvidy-i-svojjstva.html>»
18. Компьютерное моделирование магнитной системы для магнитно-абразивной обработки труб а. Н. Хамутовский Гомельский

государственный технический университет имени П. О. Сухого, Беларусь
О. П. Корогода Унитарное предприятие «Полимаг», г. Минск, Беларусь
Научный руководитель М. П. Кульгейко

- 19.Ткачук І.В. Геометричні характеристики магнітно-абразивних порошків / І.В. Ткачук, В.С. Майборода // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. Збірник наук. праць. – Краматорськ, 2014. – Вип. 34 – С. 49 – 55.
- 20.Майборода В. С. Основи створення і використання порошкового магнітно-абразивного інструменту для фінішної обробки фасонних поверхонь: дис. докт. техн. наук: 05.03.01 / Майборода В. С. – Київ, 2001. – 404 с.
- 21.Оликер В.Е. Порошки для магнитно-абразивной обработки и износостойких покрытий / В.Е. Оликер. – М.: Металлургия, 1990. – 176 с.
- 22.Harsh K. Magnetorheological nano-finishing of diamagnetic material using permanent magnets tool / K. Harsh, G. Vishwas. // Precision Engineering. – 2018. – №51. – С. 30–39.
- 23.Гусев В.В. Магнитно-абразивная обработка внутренних поверхностей с использованием постоянных магнитов / В. В. Гусев. // Наукові праці ДонНТУ. – 2011. – С. 145–151.
- 24.Ульяненко Н.В. Підвищення працездатності твердосплавного інструменту шляхом застосування магнітно-абразивного оброблення та нанесення зносостійких покриттів. Дис. канд. техн. наук.: 05.03.01 /Ульяненко Наталія Валентинівна. - Київ, 2006. – 160с.

